



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ciencias Químicas

Carrera de Ingeniería Ambiental

Remoción de la turbiedad y color mediante el uso de Tuna (*Opuntia ficus indica*) en el agua cruda del subsistema de la comunidad de Lunduma, cantón Santa Isabel.

**Trabajo de titulación previo
a la obtención del título de
Ingeniero Ambiental**

Autora:

Maritza Cecilia Aucay Cornejo
C.I. 0106344211

Directora:

Ing. Sonia Margoth Astudillo Ochoa, Msc
C.I. 010404447-4

Asesor:

Dr. Wilson Giovanni Larriva, Msc.
C.I. 010219424-8

Cuenca – Ecuador

03/09/2019



RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo probar el mucílago fresco de la tuna (*Opuntia ficus indica*) como agente clarificador del agua cruda en el subsistema de potabilización de la comunidad de Lunduma, perteneciente al cantón Santa Isabel, Azuay. Se realizaron en total 16 muestreos, para esto se recolectó agua cruda en la zona de entrada a la planta de tratamiento; luego, se aplicaron pruebas de jarras, midiendo tanto las condiciones iniciales como finales, de los parámetros involucrados y responsables del color al agua, como la turbiedad, color, pH, hierro, sólidos disueltos totales, sólidos sedimentables y suspendidos. Tras las pruebas de jarras, se compararon los resultados con los exigidos en la NTE INEN 1108 y el TULSMA, Libro VI, Anexo 1. Además, se determinó la cantidad o dosis óptima para disminución de la turbiedad. Los resultados derivados de los análisis de los diferentes parámetros, indicaron que la tuna posee la capacidad de coagulación – floculación, exceptuando el caso de los Sólidos Disueltos Totales (SDT), debido a que sus valores siempre presentaron una tendencia de incremento con referencia a la condición inicial.

Palabras clave: Mucílago. Tuna. *Opuntia ficus indica*. Coagulante. Floculante, Prueba de jarras.



ABSTRACT

This project is intended to try fresh mucilage of prickly pear (*Opuntia ficus indica*) as a clearing agent of fresh water belonging to the purifying subsystem of the Lunduma Community, which belongs to the Santa Isabel canton in the province of Azuay. Sixteen sampling were performed, for which fresh water from the plant entrance was taken; afterwards, jar tests were applied to measuring the initial as well as the final conditions of the water, the involving parameters and responsible for the water color, such as turbidity, color, pH, iron, total of dissolved solids, sedimentable and suspended solids. After the jar tests, the results were compared with the requirements by NTE INEN 1108 and TULSMA, book VI, appendix 1 were reached. Besides that, the optimal amount or doses to diminish turbidity were determined. The results obtained from the analysis of the different parameters show that prickly pear has the capability of coagulation – flocculation, except the case of the Total Dissolved Solids (TDS) since their values always showed a tendency to increase referring to the initial condition.

Key words: Mucilage. Prickly pear. *Opuntia ficus indica*. Coagulating. Flocculating. Jar tests.



ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|--|----|
| CAPÍTULO I | 12 |
| INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS | 12 |
| 1.1 Antecedentes | 12 |
| 1.2 Identificación del problema y justificación..... | 13 |
| 1.3 Objetivos | 14 |
| 1.3.1 Objetivo General..... | 14 |
| 1.3.2 Objetivos Específicos | 14 |
| 1.4 Hipótesis | 14 |
| CAPÍTULO II | 15 |
| MARCO TEÓRICO | 15 |
| 2.1 Agua potable | 15 |
| 2.2 Parámetros de calidad del agua..... | 15 |
| 2.2.1 Parámetros físicos..... | 15 |
| 2.2.2 Parámetros químicos..... | 16 |
| 2.3 Clarificación del agua..... | 17 |
| 2.3.1 Coagulación | 17 |
| 2.3.2 Floculación | 18 |
| 2.3.3 Sedimentación | 18 |
| 2. 4 Tipos de coagulantes..... | 19 |
| 2.4.1 Coagulantes inorgánicos..... | 19 |
| 2.4.2 Coagulantes naturales..... | 19 |
| 2.5 Prueba de jarras | 20 |
| 2.6 Características de la Tuna (<i>Opuntia ficus-indica</i>) | 20 |
| 2.6.1 Taxonomía..... | 21 |
| 2.6.2 La tuna como coagulante – floculante | 22 |
| CAPÍTULO III | 23 |
| METODOLOGÍA..... | 23 |
| 3.1 Descripción geográfica del área de estudio | 23 |
| 3.2 Características del lugar de estudio | 24 |
| 3.3 Levantamiento de información primaria..... | 25 |
| 3.5 Tipo de investigación | 25 |
| 3.5.1 Recolección de las pencas de tuna..... | 26 |



| | |
|--|----|
| 3.5.2 Extracción del mucílago de la tuna..... | 26 |
| 3.6 Recolección de las muestras de agua | 28 |
| 3.7 Condiciones de operación de las pruebas de jarras..... | 29 |
| CAPÍTULO IV..... | 31 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 31 |
| 4.2 Análisis e interpretación de resultados | 31 |
| 4.3 Evaluación del proceso de coagulación y floculación..... | 34 |
| 4.4 Análisis por parámetros..... | 36 |
| 4.4.1 Análisis de la Turbiedad | 36 |
| 4.4.2 Análisis del color..... | 38 |
| 4.4.6 Análisis Sólidos Suspendidos | 40 |
| 4.5 Comparación de valores promedios con la normativa de calidad ambiental.. | 41 |
| 4.6 Curva de dosificación del coagulante natural | 42 |
| CAPÍTULO V..... | 45 |
| CONCLUSIONES..... | 45 |
| RECOMENDACIONES | 47 |
| REFERENCIAS | 48 |
| ANEXOS..... | 53 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

| | |
|--|----|
| Ilustración 1. Coagulación, floculación y deposición de una suspensión coloidal tras agregar coagulante..... | 18 |
| Ilustración 2. Equipo para pruebas de jarras. | 20 |
| Ilustración 3. Cactus de Tuna. | 21 |
| Ilustración 4. Mapa de ubicación de la planta de tratamiento del agua potable. | 23 |
| Ilustración 5. Subsistema de tratamiento de agua de la comunidad de Lunduma..... | 24 |
| Ilustración 6. Zona de recopilación de muestras..... | 25 |
| Ilustración 7. Diagrama de procesos para la extracción del mucílago fresco de la tuna. | 27 |
| Ilustración 8. Recolección y corte de la tuna..... | 28 |
| Ilustración 9. Transporte de las muestras de agua. | 29 |
| Ilustración 10. Peso del mucílago fresco de la tuna..... | 30 |
| Ilustración 11. Valores de la turbiedad..... | 36 |



| | |
|--|----|
| Ilustración 12. Porcentaje de reducción de la turbiedad. | 38 |
| Ilustración 13. Valores del color. | 38 |
| Ilustración 14. Porcentaje de reducción del color. | 39 |
| Ilustración 15. Valores de los sólidos suspendidos. | 40 |
| Ilustración 16. Porcentaje de remoción de los sólidos suspendidos. | 41 |
| Ilustración 17. Curva de dosificación. | 44 |
| Ilustración 18. Modelo de la encuesta aplicada. | 55 |
| Ilustración 19. Edad de las personas encuestadas. | 56 |
| Ilustración 20. Género de los encuestados. | 56 |
| Ilustración 21. Personas encuestadas por sectores. | 57 |
| Ilustración 22. Número de integrantes por familia. | 57 |
| Ilustración 23. Encuestados que consumen agua directamente del grifo. ... | 58 |
| Ilustración 24. Percepción sobre la calidad de agua. | 58 |
| Ilustración 25. Apariencia del agua (turbiedad). | 59 |
| Ilustración 26. Usuarios que conocen la zona de captación del agua cruda. | 59 |
| Ilustración 27. Necesidad de conocer la calidad del agua potable. | 60 |
| Ilustración 28. Población que presenta enfermedades por el consumo del agua potable. | 60 |
| Ilustración 29. Uso de compuestos naturales para el mejoramiento de la calidad del agua. | 61 |
| Ilustración 30. Disposición a pagar por mejorar el servicio del agua potable. | 61 |
| Ilustración 31. Aplicación de encuestas. | 62 |
| Ilustración 32. Pruebas de jarras. | 64 |
| Ilustración 33. Equipo usado para medir la turbiedad. | 64 |
| Ilustración 34. Equipo usado para medir el color. | 65 |
| Ilustración 35. Reactivos usados para medir el pH. | 65 |
| Ilustración 36. Equipo usado para medir el Hierro. | 66 |
| Ilustración 37. Equipo usado para medir los SDT. | 66 |
| Ilustración 38. Determinación de los sólidos suspendidos. | 67 |
| Ilustración 39. Horno de laboratorio programado para eliminar la humedad de los papeles filtros. | 67 |
| Ilustración 40. Acondicionamiento de los papeles filtros antes de proceder al pesado. | 68 |
| Ilustración 41. Peso del papel filtro después de las 24 horas en el horno. .. | 68 |



ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Detalle de la taxonomía de la tuna..... | 21 |
| Tabla 2. Análisis de la composición del mucílago de la tuna. | 22 |
| Tabla 3. Condiciones de operación de las pruebas de jarras. | 30 |
| Tabla 4. Resultados para determinar la eficiencia del coagulante natural. .. | 33 |
| Tabla 5. Porcentajes de remoción de los diferentes parámetros. | 35 |
| Tabla 6. Valores promedios de los resultados y comparación con la normativa de calidad ambiental. | 42 |
| Tabla 7. Valores recolectados de la dosificación de la tuna y la turbiedad. . | 42 |
| Tabla 8. Datos para determinar la muestra a encuestar. | 53 |
| Tabla 9. Fechas de muestreo. | 63 |

ÍNDICE DE ECUACIONES

| | |
|---|----|
| Ecuación 1. Porcentaje de remoción. | 34 |
| Ecuación 2. Tamaño de la muestra conociendo el tamaño de la población. | 53 |

Cláusula de Propiedad Intelectual

Maritza Cecilia Aucay Cornejo, autora del trabajo de titulación "Remoción de la turbiedad y color mediante el uso de Tuna (*Opuntia ficus indica*) en el agua cruda del subsistema de la comunidad de Lunduma, cantón Santa Isabel", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, julio de 2019.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Maritza Aucay", with several horizontal strokes underneath it.

Maritza Cecilia Aucay Cornejo

C.I: 0106344211

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Maritza Cecilia Aucay Cornejo en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Remoción de la turbiedad y color mediante el uso de Tuna (*Opuntia ficus indica*) en el agua cruda del subsistema de la comunidad de Lunduma, cantón Santa Isabel", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, julio de 2019.



Maritza Cecilia Aucay Cornejo

C.I: 0106344211



DEDICATORIA

A mi Dios, por darme salud y sabiduría para lograr cada uno de mis objetivos.

A mis padres, Moisés e Inés, por brindarme su apoyo incondicional en todos y cada uno de mis proyectos académicos y personales. Gracias por siempre confiar en mí y ofrecerme su amor infinito.

A mis hermanos Irma, Freddy, Rodrigo, Carmen y sobrinos, por compartirme sus consejos y alentarme para continuar con mis estudios. Son mi inspiración para no desfallecer en el camino.

A todos mis amigos y familiares, que siguieron de cerca el logro de este objetivo, gracias por su apoyo y buenos deseos.

Maritza



AGRADECIMIENTO

A la Universidad de Cuenca, por ser mi alma máter, y haberme preparado adecuadamente con los conocimientos necesarios para servir a la sociedad.

A la Ing. Sonia Astudillo y al Dr. Giovanni Larriva, por su asesoramiento y colaboración durante el desarrollo del proyecto de titulación.

A la Empresa Municipal de Agua Potable y Aseo – Santa Isabel, y de manera especial a la Lcda. María Ángel Torres, por toda su ayuda brindada.

A la Junta de Agua Potable de Lunduma, por permitirme realizar este proyecto.

Maritza



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Antecedentes

El recurso agua es indispensable para el desarrollo de la vida, pero debido a la contaminación se ha visto la necesidad de su potabilización, de tal manera que sea apta para el consumo humano. El grado del tratamiento del agua dependerá de la calidad del agua de entrada a la planta, en donde ésta pasará a través de filtros de grava, arena y/o carbón activado, luego se inducirá a la clarificación, para finalmente añadir una sustancia desinfectante con lo que se logrará su purificación; sin embargo, existen muchas sustancias que resultan difícil eliminarlas (Berdonces, 2008).

El proceso de coagulación – floculación, permite desestabilizar las partículas en suspensión para luego aglomerarlas, formando flóculos, los cuales serán eliminados por el proceso de decantación y filtración. Dentro de las plantas de potabilización convencionales suele utilizarse el Sulfato de Aluminio $Al_2(SO_4)_3$ como coagulante, el cual según investigaciones afecta a la salud de los consumidores y al medio ambiente, por esta razón se busca alternativas naturales que puedan sustituir a los productos químicos (Hussain, Ghouri, & Ahmad, 2019).

En el caso particular de la planta de potabilización de la comunidad de Lunduma del cantón Santa Isabel, ésta no cuenta con recursos económicos suficientes para la adquisición de productos químicos (coagulantes); por esta razón, se realizó un estudio piloto a escala de laboratorio, en donde se utilizó el mucílago fresco de la tuna para las pruebas de jarras, con la finalidad de reducir aquellos agentes que dan coloración y turbiedad al agua. Además, se evaluó el porcentaje de remoción de la concentración de cada parámetro, comparando el agua cruda y el agua obtenida después de las pruebas de jarras con el objetivo de encontrar las mejores dosis, y que de esta manera los parámetros evaluados cumplan con los requisitos de la NTE INEN 1108, 2014 y el TULSMA, Libro VI, Anexo 1.

1.2 Identificación del problema y justificación

La comunidad de “Lunduma” perteneciente al Cantón Santa Isabel en la provincia del Azuay, cuenta con un subsistema de tratamiento para la potabilización del agua, el cual se ha visto afectado por las diferentes actividades antropogénicas que se desarrollan en la zona alta, como es el caso de la agricultura y ganadería; así como también eventos naturales, tal es el caso de la erosión, derrumbes y fuertes precipitaciones.

Sumado a lo anterior, la planta de potabilización no realiza los procesos de coagulación y floculación, por lo que el tratamiento del agua no resulta ser el óptimo; además, la comunidad no dispone de los recursos económicos suficientes para la adquisición de los productos químicos que resultan ser necesarios dentro de una planta convencional.

Con la finalidad de brindar soluciones a esta problemática, se pretende evaluar el poder de la tuna como coagulante natural, de tal manera que represente una alternativa económica y amigable con el medio ambiente dentro del proceso de potabilización. Es conveniente recalcar que los coagulantes naturales presentan una gran ventaja sobre los coagulantes tradicionales (químicos), pues los lodos generados en la etapa de coagulación – floculación no representarán un riesgo al medio ambiente, debido a la naturaleza biodegradable de estos coagulantes alternativos.

Como paso previo al desarrollo de esta investigación, fueron realizadas encuestas a los usuarios del servicio de agua potable sobre la calidad del agua que dota la planta.



1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Evaluar la capacidad de remoción del color y turbiedad al aplicar mucílago fresco de tuna en el agua cruda.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Analizar la calidad del agua a la entrada al subsistema.
- Establecer una dosis óptima del coagulante natural.
- Verificar los resultados obtenidos frente a los requisitos establecidos en la Norma INEN 1108 y el TULSMA.

1.4 Hipótesis

El mucílago fresco de la tuna disminuye las concentraciones de los parámetros que dan coloración y turbidez al agua, actuando como un coagulante natural efectivo y alternativo a los coagulantes de origen químico.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Agua potable

Se denomina agua potable a aquella agua que es apta para consumo humano, debido a que tras un proceso de potabilización, su consumo no representa un riesgo para la salud pública (Katrivesis, Karela, Papadakis, & Paraskeva, 2019).

2.2 Parámetros de calidad del agua

La calidad del agua es un factor sumamente importante, puesto que el consumo de ésta, involucra directamente la salud de la población, así como el desarrollo de actividades económicas. Para ello, se analizan los parámetros físicos, químicos y microbiológicos (Abdelmalik, 2018).

2.2.1 Parámetros físicos

Turbiedad

La turbidez es causada por materiales suspendidos que no se disuelven en el medio, por tanto, reduce la claridad del agua, es decir, cambia las propiedades ópticas (Tonkin, 2012). Los materiales suspendidos pueden ser de origen orgánico o inorgánico y su tamaño varía desde partículas coloidales hasta macroscópicas (Paixão & Balaban, 2018), la forma más eficiente de reducir la turbiedad del agua, es mediante el uso de coagulantes y floculantes (Antov et al., 2018).

Color

Es una característica que puede aparecer o no con la turbiedad (Castro & Suescún, 2016). A medida que el color aumenta se puede decir que el agua contiene partículas indeseables. La coloración del agua se debe principalmente al contenido de hierro, taninos, ácidos grasos y húmicos, y

también por la putrefacción de la materia orgánica del suelo, sustancias de origen vegetal, entre otros procesos (Covarrubias, 2011).

Sólidos Disueltos Totales (SDT)

Los Sólidos Disueltos Totales (SDT) son producto de la adición de los metales, sales y minerales disueltos en el agua. La elevada presencia de éstos proporciona un aspecto turbio al agua, afectando el sabor. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) lo ubica como un contaminante secundario, pues no afecta a la salud en caso de consumo; sin embargo, estéticamente no es agradable (Sigler & Bauder, 2017).

Sólidos suspendidos

Son los responsables del incremento de la turbiedad del agua. Dependen de la distribución y el tamaño de las partículas presentes (Jiménez, 2001), las cuales pueden ser de origen orgánico (desintegración de animales y plantas), mineral (arena), y de microorganismos (bacterias, virus y algas) (Guzmán, Villabona, Tejada, & García, 2013).

Sólidos sedimentables

Son partículas sólidas que pueden ser separados por la acción de la gravedad en un sistema de decantación (cono Imhoff) (Rojas, 2002), por un tiempo determinado de 60 minutos, se lo expresa en mL/L (Olmos, 2003).

2.2.2 Parámetros químicos

Potencial Hidrógeno (pH)

Indica la concentración de iones hidrógeno (H_3O^+) en el agua (Barba, Rodríguez, & Córdova, 1991). El pH va en una escala de 1 a 14, lo cual indica si el agua es de carácter ácido (<7), neutro (7) o básico (>7) (Covarrubias, 2011).

Según Olmos, (2003) “el intervalo de concentraciones del ión hidrógeno para que no se altere las características biológicas de un cuerpo de agua en relación con este parámetro es limitado y crítico a la vez”.



Hierro

La presencia de hierro en el agua suele afectar su potabilización (Lapeña & Rigola, 1989), debido a que le da un color rojizo y un sabor metálico indeseable al agua (McFarland & Dozier, 2004).

La agencia de protección del medio ambiente lo considera como un contaminante secundario. Ocurre naturalmente en la naturaleza, tras la filtración del agua a través de las diferentes capas y rocas del suelo (Menendez & Santiago, 2011).

2.3 Clarificación del agua

La clarificación permite eliminar la presencia de sólidos suspendidos y material coloidal, para ello se suelen adicionar coagulantes -floculantes, de tal manera que dichas partículas se aglomeren y por lo tanto, aumenten de tamaño, permitiendo que la remoción sea más fácil (Flórez, 2011).

El proceso es simple y eficiente, sin embargo, existen varios factores que lo pueden llegar a afectar, como el tipo y dosis del floculante, la velocidad de mezcla, el pH, tiempo de sedimentación, etc (Paixão & Balaban, 2018).

2.3.1 Coagulación

Se considera como la operación fisicoquímica más importante para la eliminación de las impurezas del agua (Paixão & Balaban, 2018), debido a que los coagulantes se agregan para disminuir la carga eléctrica entre las partículas, permitiendo la desestabilización de las partículas coloidales, y formando micro – flóculos (Katrivesis et al., 2019). Dentro de este proceso los coagulantes químicos más usados suele ser el Sulfato de Aluminio, Aluminato de Sodio, Cloruro de Aluminio, Cloruro Férrico, Sulfato Férrico, Sulfato Ferroso (Flórez, 2011), Polielectrolitos (Arcila & Peralta, 2016).

El sulfato de aluminio resulta ser muy efectivo en la eliminación de partículas suspendidas, pero a pesar de ello, existe un gran debate sobre los problemas de la salud que este producto ocasiona a los consumidores del agua potable (Katrivesis et al., 2019).

2.3.2 Floculación

La floculación es una operación sucesiva a la coagulación, por ello la agitación no debe ser muy rápida pues puede provocar que los flocs previamente formados se rompan (Trujillo et al., 2014).

Los floculantes se agregan con el objetivo de mejorar la colisión y el crecimiento de flóculos (Paixão & Balaban, 2018). Adicionar floculantes permite que los microflocs se unan unos a otros de tal manera que se formen flóculos más grandes y densos, logrando con esto que puedan precipitarse más fácilmente (Katrivesis et al., 2019).

2.3.3 Sedimentación

Es la remoción de las partículas más pesadas por la acción de la gravedad (Flórez, 2011), en un tiempo determinado, los sólidos generalmente están constituidos de coloides, arenas y limos aglomerados en las dos etapas anteriores (Paixão & Balaban, 2018).

La aplicación de los tres procesos (coagulación, floculación y sedimentación) mencionados anteriormente se pueden observar en la siguiente imagen:

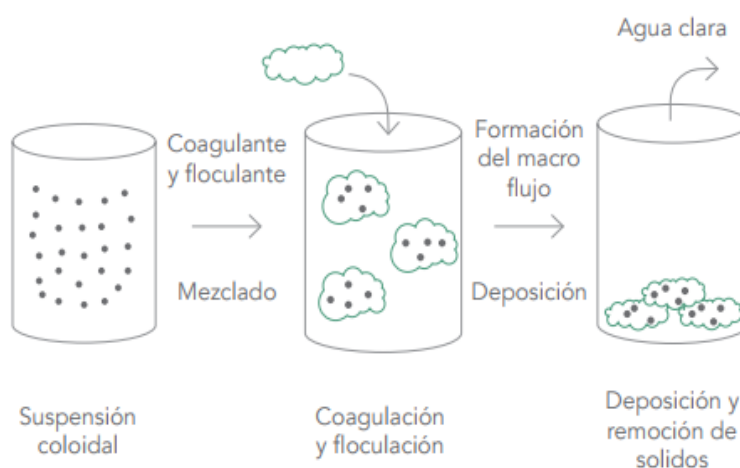


Ilustración 1. Coagulación, floculación y deposición de una suspensión coloidal tras agregar coagulante.

Fuente: Arcila & Peralta, 2016.

2. 4 Tipos de coagulantes

2.4.1 Coagulantes inorgánicos

Brindan una gran eficiencia en el tratamiento, sin embargo, siempre es necesario ajustar el pH y alcalinidad, debido a que con esto se asegura su efectividad. Además, su uso genera grandes volúmenes de lodo, lo que implica mayores costos en el tratamiento. Los principales coagulantes utilizados para producir microflóculos son: a) Sulfato de Aluminio. b) Aluminato de Sodio. c) Cloruro de Aluminio. d) Cloruro Férrico. e) Sulfato Férrico. f) Sulfato Ferroso. g) Polielectrolitos (Arcila & Peralta, 2016). Siendo el Sulfato de Aluminio el coagulante más demandado en la mayoría de sistemas de tratamiento del agua, éste es usado para precipitar la arcilla, partículas coloidales, algas y sustancias húmicas presentes en el agua (Abo-El-Enein, Shebl, & Abo El-Dahab, 2017).

2.4.2 Coagulantes naturales

La forma más común de tratar las aguas turbias a sido con compuestos químicos, pero la presencia de los lodos, que son resultado del proceso de coagulación y floculación, resultan ser potencialmente dañino para medio ambiente, por lo que a despertado la atención pública y científica por un enfoque ecológico sobre el tratamiento del agua. Por ello, una alternativa viable resulta ser el uso de coagulantes naturales, los cuales son económicos y amigables con el medio ambiente, debido a que los lodos no representan ningún riesgo ambiental, pudiendo ser biológicamente procesados o incluso desechado (sin previo tratamiento) como acondicionador del suelo (Antov et al., 2018).

Por lo general, están disponibles a nivel local y al venir de extractos de plantas naturales se encuentran libres de tóxicos y, por ende, no representan un peligro para la salud humana. Además, no son corrosivos, lo que se traduce en ahorros económicos dentro de la fase operativa (Guzmán et al., 2013).

Actualmente, muchas plantas se han identificado como fuente de coagulantes naturales (Antov et al., 2018), por lo que en países en vías de

desarrollo, éstos representan una alternativa viable para el tratamiento del agua (Poumaye, Mabingui, Lutgen, & Bigan, 2012).

Es así que, en países como China, India y África se ha llevado utilizando estos compuestos por más de 400 años, como ayudantes de coagulación del agua (Arcila & Peralta, 2016). La mayoría de coagulantes naturales se obtiene de: *Moringa oleífera* (Moringa), *Jatropha curcas* (Piñón Mejicano), *Hibiscus sabdariffa* (Rosa de Jamaica), *Prosopis juliflora* (Frijol mezquite), *Cactus latifaria* y *Opuntia ficus indica* (Tuna) (Guzmán et al., 2013).

2.5 Prueba de jarras

Las pruebas de jarras se usan para determinar la dosis óptima de coagulante, lo que permite que se desarrolle adecuadamente el proceso de coagulación dentro del tratamiento del agua (Dentel, Thomas, & Kingery, 1989), para ello, tras la aplicación de los coagulantes se verifica el valor de la turbiedad, puesto que esto permitirá evaluar la eficiencia del proceso, mediante la remoción de la turbidez frente a los valores iniciales.

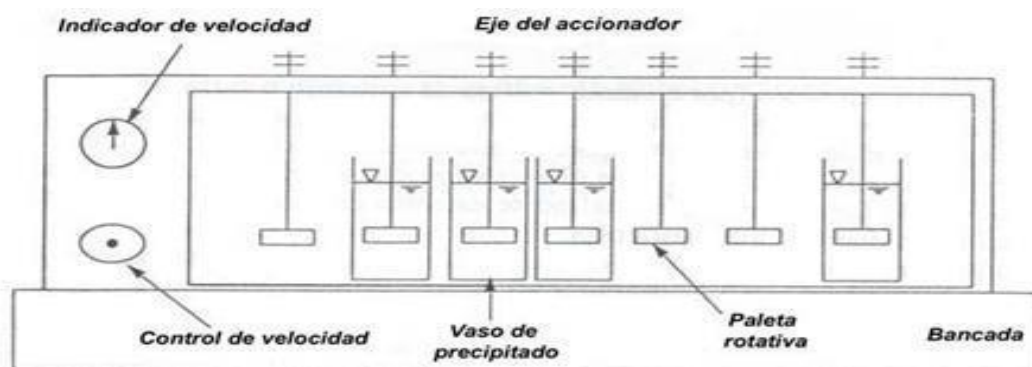


Ilustración 2. Equipo para pruebas de jarras.

Fuente: Kiely, 1999.

2.6 Características de la Tuna (*Opuntia ficus-indica*)

Es una planta cetácea conocida también como cactus o tuna que se adapta fácilmente a zonas con escasez de agua. Las pencas son de color verdoso y no presentan abundantes espinas, lo que hace que no sea muy complicada su recolección, además posee frutos comestibles. Pueden alcanzar una altura de 5 m (Ortíz, Paz, & García, 2013) Así también, el cultivo presenta para algunos países una fuente de ingresos económicos y alimenticios. Se puede encontrar desde el oeste de Canadá y se llega a extender por toda

América del Sur (Wan, Chakraborty, Xu, & Ray, 2019). México produce 428,300 toneladas/año, lo que le convierte en el mayor productor mundial de tuna (nopal). También se producen en países como: Italia, Argentina, Estados Unidos, Perú, Brasil, Turquía, España, Egipto, Túnez, Colombia, entre otros (García-Cayuela, Gómez-Maqueo, Guajardo-Flores, Welti-Chanes, & Cano, 2019).

2.6.1 Taxonomía

Las pencas de este cactus, generalmente alcanzan una longitud de 30 a 50 cm y un espesor de 2 cm (Ortíz et al., 2013) poseen en ambas caras espinos.



Ilustración 3. Cactus de Tuna.
Fuente: Autora

A continuación, se presenta un detalle de la taxonomía de la Tuna:

Tabla 1. Detalle de la taxonomía de la tuna.

| | |
|--------------------------|-----------------------------|
| Nombre científico | <i>Opuntia ficus-indica</i> |
| Reino | Plantae |
| Phylum | Magnoliophyta |
| Clase | Magnoliopsida |
| Orden | Caryophyllales |



| | |
|---------------------------|---------------------|
| Familia | Cactaceae |
| Género | Opuntia |
| Epíteto Específico | <i>ficus-indica</i> |

Fuente: Morejón, B., 2017.

2.6.2 La tuna como coagulante – floculante

La capacidad de la tuna para actuar como coagulante – floculante, se debe principalmente a la presencia del gel que posee el mucílago de la tuna; esto debido a que está compuesto de polisacáridos y pectinas.

Tabla 2. Análisis de la composición del mucílago de la tuna.

| Parámetro | Contenido |
|---------------------|------------------|
| L – arabinosa | 46,20% |
| D – galactosa | 19,17% |
| L- ramnosa | 6,72% |
| D- xilosa | 24,04% |
| Acido galacturónico | 7,10% |

Fuente: Morejón, B., 2017.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Descripción geográfica del área de estudio

La zona de estudio se encuentra ubicada en la comunidad de Lunduma perteneciente al Cantón “Santa Isabel” en la provincia del Azuay, a una altitud aproximada de 1620 msnm.

El cantón Santa Isabel posee una temperatura promedio anual de 20.5°C y una precipitación media de 486 mm, registrándose las menores precipitaciones en el mes de julio y las mayores en marzo, con 6 mm y 100 mm respectivamente.

A continuación, se presenta un mapa donde se ubica el área de estudio:

SUBSISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD DE "LUNDUMA"

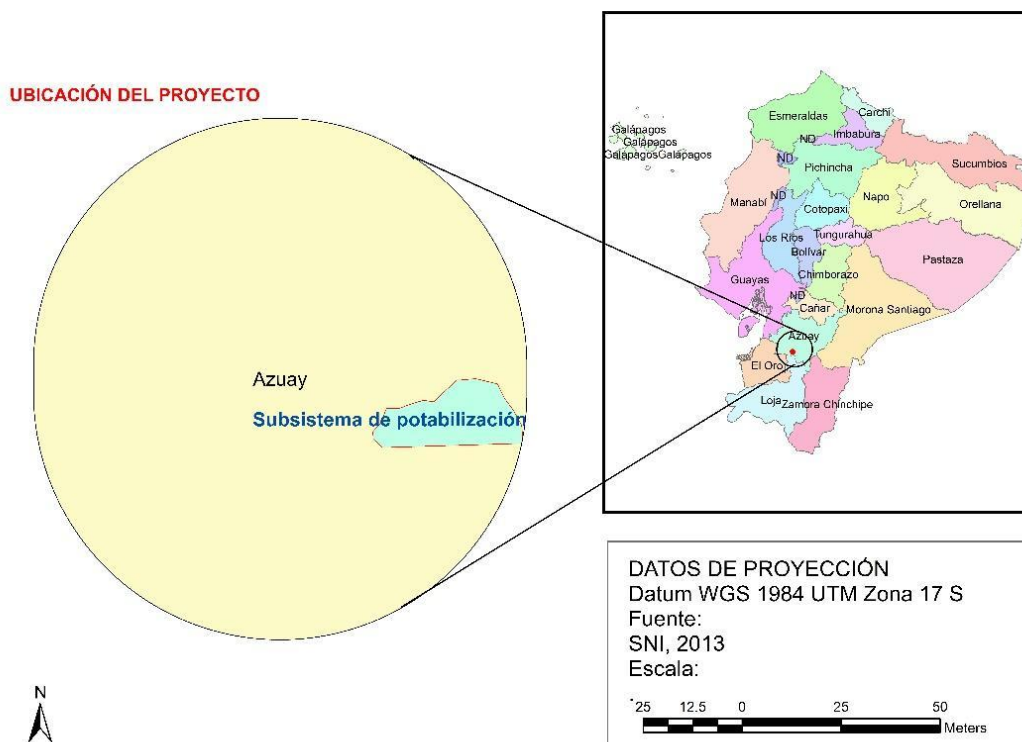


Ilustración 4. Mapa de ubicación de la planta de tratamiento del agua potable.
Fuente: Autora.

3.2 Características del lugar de estudio

La planta de potabilización de la comunidad de Lunduma fue inaugurada el 20 de abril de 1989, por representantes del Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias (IEOS) y miembros de la junta administrativa de la comunidad.

Actualmente, a la planta ingresa un caudal aproximado de 4 L/s, el cual es captado del canal San Francisco, y se encuentra diseñado de la siguiente manera:

1. Obra de llegada del agua cruda
2. Filtro de grava
3. 9 filtros de diferente tamaño, que contienen en su interior grava.
4. Filtros de grava y arena, separados por una tela de geotextil cada uno
5. Zona de cloración
6. Zona de almacenamiento y distribución



Ilustración 5. Subsistema de tratamiento de agua de la comunidad de Lunduma.
Fuente: Autora.

La recolección de las muestras de agua cruda se realizó en la zona de entrada a la planta.



Ilustración 6. Zona de recopilación de muestras.
Fuente: Autora.

3.3 Levantamiento de información primaria

Con la finalidad de conocer la percepción que posee la comunidad sobre la calidad del agua que recibe en sus domicilios, se realizaron encuestas de campo (*Véase anexo 1*).

3.4 Tamaño de la muestra

Para determinar el número de encuestas a aplicar, se solicitó información al presidente de la junta de agua sobre el número de usuarios que se encuentran suscritos a esta entidad (*Véase anexo 1*).

3.5 Tipo de investigación

El desarrollo de este trabajo fue a escala experimental, donde se evaluó la acción del mucílago de la tuna como agente coagulante en aguas crudas.

Las pruebas de jarras se llevaron a cabo durante 8 semanas, con dos repeticiones por semana. Los parámetros que se evaluaron fueron:



- Color
- Turbiedad
- pH
- Hierro
- Sólidos Disueltos Totales
- Sólidos Sedimentables
- Sólidos Suspendidos

3.5.1 Recolección de las pencas de tuna

Para la recolección de las pencas de tuna se seleccionó un cactus de aproximadamente 3 años de edad, según datos del operador de la planta de agua del cantón Santa Isabel. La elección del cactus fue en función del tamaño y aspecto saludable, con el cual se trabajó durante todo el tiempo de experimentación; igualmente, se recolectó 1 penca por cada día en el que se realizó las pruebas de jarras.

3.5.2 Extracción del mucílago de la tuna

La tuna ha sido usada muchas veces dentro del tratamiento de aguas potables y residuales con el fin de mejorar la calidad (Nharingo & Moyo, 2016). Es así que el proceso extractivo del mucílago de la tuna es el siguiente:

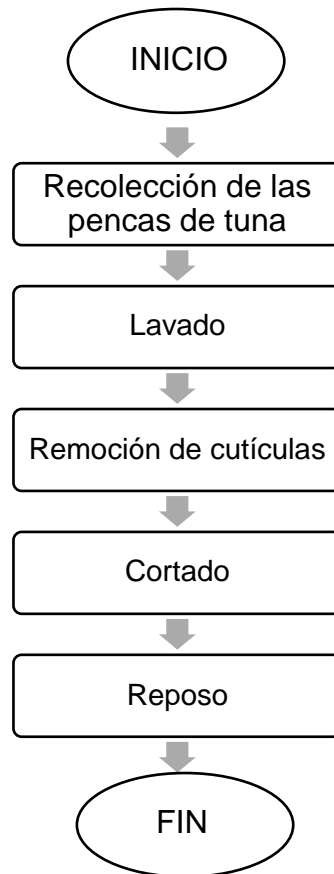


Ilustración 7. Diagrama de procesos para la extracción del mucílago fresco de la tuna.
Fuente: Autora.

Las pencas de tuna previamente recolectadas fueron llevadas al laboratorio, donde se lavó con abundante agua potable; luego, con la ayuda de un cuchillo doméstico se retiró las espinas y epidermis para obtener solamente el mucílago; luego, se realizó varios cortes de manera horizontal y vertical, tratando de que sean lo más homogéneos posible, con lo que se obtuvo mucílagos cortados en cuadros, finalmente se colocó en un recipiente y se dejó reposar por unos 5 minutos, con el fin de favorecer la dilución del gel de cada pedazo de mucílago.



Ilustración 8. Recolección y corte de la tuna.

Fuente: Autora.

3.6 Recolección de las muestras de agua

Las muestras de agua fueron recolectadas manualmente en la zona de entrada al subsistema cada día de la realización de los análisis, para ello se recolectó 30 L y de ésta se extrajo 2000 mL de agua cruda, para preservarlo en un equipo de refrigeración hasta llegar al laboratorio y así poder cumplir con los análisis previos a la prueba de jarras. Cabe mencionar, que los recipientes se los lavaba previamente con agua destilada, y en el punto de recolección de las muestras nuevamente fueron homogeneizadas con el agua de cruda del lugar, para luego proceder a la toma de la muestra y posterior transporte al laboratorio.

Sin embargo, en el laboratorio del cantón Santa Isabel, no se cuenta con todos los equipos necesarios para el análisis de los parámetros, por lo cual, tras las pruebas de jarras, se recolectaba 1, 5 L y se lo llevaba al Laboratorio de Análisis de Agua del campus Balzay de la Universidad de Cuenca.



Ilustración 9. Transporte de las muestras de agua.
Fuente: Autora

3.7 Condiciones de operación de las pruebas de jarras

Las pruebas de jarras se desarrollaron 2 veces por semana durante 8 semanas consecutivas. Para el desarrollo de éstas, se colocó distintas cantidades del mucílago fresco de la tuna en cada jarra más 2 litros de agua cruda en cada una.



Ilustración 10. Peso del mucílago fresco de la tuna.
Fuente: Autora.

En las pruebas de jarras se utilizó el equipo Phipps & Bird (USA), el cual posee seis jarras de 2 litros cada una e igual número de paletas giratorias. Se trabajó bajo las siguientes condiciones:

Tabla 3. Condiciones de operación de las pruebas de jarras.

| Corrida (C) | Descripción | Gradiente de velocidad | Tiempo |
|--------------------|--------------------|-------------------------------|---------------|
| C1 | Mezcla rápida | 200 rpm | 1 minuto |
| C2 | Mezcla lenta | 40 rpm | 20 minutos |
| C3 | Sedimentación | 0 | 30 minutos |

Fuente: Feria Díaz, Bermúdez Roa, & Estrada Tordecilla, 2014.

Tras la prueba de jarras se extrajo una alícuota de agua de cada una y se procedió a medir la turbiedad, considerando el valor más bajo como el óptimo (≤ 5), y a partir de esta muestra se midió el color, pH, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables y sólidos disueltos totales.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El presente estudio permitió analizar las características físico – químicas de las muestras de agua cruda y la tratada bajo el coagulante natural (mucílago de tuna), permitiendo brindar una alternativa viable y amigable con el medio ambiente sobre el tratamiento de agua para consumo humano.

De esta manera, las pruebas de jarras permitieron evaluar la eficiencia del tratamiento en el proceso de coagulación – floculación, donde se analizó los parámetros como: la turbiedad, color, pH, Hierro (Fe), sólidos disueltos totales (SDT), sólidos sedimentables y suspendidos, comparando con la NTE INEN 1108 y los requisitos del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua, Libro VI, Anexo 1, estableciendo en la Tabla 1: Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico, con el objetivo de identificar el porcentaje de remoción y con ello la eficiencia del coagulante natural.

Es así que, los parámetros objeto principal de este estudio, como es el caso de la turbiedad, color y sólidos suspendidos, se logró reducir notablemente sus contenidos iniciales frente a los finales, en un 99%, 97% y 99% respectivamente.

4.2 Análisis e interpretación de resultados

Los resultados recaudados en los 16 muestreos se presentan en la tabla 5, en donde se analizan las condiciones iniciales y finales de las diferentes muestras de agua, con sus respectivas variaciones. Es conveniente indicar que ha excepción de los sólidos disueltos totales, los demás parámetros tuvieron siempre porcentajes de reducción positivos.

Además, para una mejor comprensión de las tablas, las fechas de los muestreos son codificados de la siguiente manera:



- 12/2/2019: Muestra 1 (M1)
- 13/2/2019: Muestra 2 (M2)
- 18/2/2019: Muestra 3 (M3)
- 19/2/2019: Muestra 4 (M4)
- 25/2/2019: Muestra 5 (M5)
- 26/2/2019: Muestra 6 (M6)
- 05/3/2019: Muestra 7 (M7)
- 06/3/2019: Muestra 8 (M8)
- 11/3/2019: Muestra 9 (M9)
- 12/3/2019: Muestra 10 (M10)
- 19/3/2019: Muestra 11 (M11)
- 20/3/2019: Muestra 12 (M12)
- 25/3/2019: Muestra 13 (M13)
- 26/3/2019: Muestra 14 (M14)
- 01/4/2019: Muestra 15 (M15)
- 02/4/2019: Muestra 16 (M16)



Tabla 4. Resultados para determinar la eficiencia del coagulante natural.

| MUESTRAS PARÁMETROS | M1 | | M2 | | M3 | | M4 | | M5 | | M6 | | M7 | | M8 | | M9 | | M10 | | M11 | | M12 | | M13 | | M14 | | M15 | | M16 | |
|------------------------------|------|-----|------|------|------|------|------|------|-----|------|-----|------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|------|-----|------|------|------|-----|-----|-----|-----|
| | CI | CF | CI | CF | CI | CF | CI | CF | CI | CF | CI | CF | CI | CF | CI | CF | CI | CF | CI | CF | CI | CF | CI | CF | CI | CF | CI | CF | CI | CF | CI | CF |
| Turbiedad (NTU) | 228 | 5 | 210 | 3 | 228 | 4 | 32 | 4 | 88 | 4 | 85 | 3 | 80 | 3 | 33 | 3 | 25 | 1 | 244 | 2 | 20 | 4 | 118 | 5 | 18 | 3 | 165 | 3 | 13 | 4 | 32 | 2 |
| Color Pt-Co | 243 | 10 | 531 | 15 | 300 | 10 | 50 | 7 | 300 | 10 | 250 | 10 | 40 | 5 | 370 | 12 | 35 | 5 | 350 | 12 | 35 | 5 | 350 | 12 | 22 | 5 | 400 | 13 | 33 | 5 | 100 | 8 |
| pH | 8,1 | 7,7 | 8 | 7,8 | 8,7 | 8,4 | 6,7 | 6,6 | 7,9 | 7,6 | 7,8 | 7,2 | 8 | 7,4 | 7,7 | 7,6 | 8 | 7,8 | 7,8 | 7,4 | 8 | 7,3 | 7,8 | 7,5 | 7,6 | 7,5 | 7,8 | 7,2 | 7,3 | 6,8 | 7,8 | 7,5 |
| Fe (mg/L) | 0,58 | 0,3 | 3,17 | 0,2 | 2,23 | 0,16 | 0,77 | 0,17 | 1,5 | 0,17 | 1,6 | 0,12 | 1 | 0,2 | 0,7 | 0,2 | 0,5 | 0,3 | 2 | 0,1 | 0,6 | 0,22 | 1,5 | 0,15 | 0,4 | 0,04 | 2,28 | 0,05 | 0,2 | 0,1 | 0,9 | 0,2 |
| SDT (mg/L) | 38,3 | 51 | 49,3 | 63,2 | 44,6 | 59,3 | 30,1 | 39,2 | 22 | 27,1 | 36 | 48,7 | 19 | 25 | 20 | 25 | 23 | 31 | 24 | 30 | 22 | 28,9 | 21 | 27,6 | 20 | 24,1 | 18,7 | 24,2 | 22 | 29 | 20 | 27 |
| Sólidos sedimentables (mL/L) | 0,1 | 0 | 0,1 | 0 | 0,1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,2 | 0 | 0 | 0 | 0,1 | 0 | 0 | 0 | 0,2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sólidos suspendidos (mg/L) | 96 | 1,2 | 6 | 0,8 | 124 | 12,4 | 50,4 | 2,8 | 113 | 15,6 | 27 | 22,4 | 10 | 8 | 8 | 1,2 | 36 | 22 | 328 | 51 | 72 | 32 | 165 | 33,6 | 42 | 22,4 | 114 | 4,8 | 38 | 30 | 36 | 31 |

Elaboración: Autora

*CI: Condición inicial

**CF: Condición Final



4.3 Evaluación del proceso de coagulación y floculación

Para la evaluación del proceso de coagulación se empleó la fórmula (Ecuación 1) del porcentaje de remoción, donde se evalúa la turbiedad, color, pH, Fe, SDT, sólidos suspendidos y sedimentables inicial y final, según sea el caso.

$$\% \text{Remoción} = \frac{\text{Condición Inicial} - \text{Condición Final}}{\text{Condición Inicial}} * 100$$

Ecuación 1. Porcentaje de remoción.

Fuente: Gutiérrez, Valencia, & Aragon, 2014.



Tabla 5. Porcentajes de remoción de los diferentes parámetros.

| MUESTRAS PARÁMETROS | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 | M8 | M9 | M10 | M11 | M12 | M13 | M14 | M15 | M16 |
|--------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| % Turbiedad | 98% | 98% | 98% | 88% | 96% | 97% | 97% | 91% | 96% | 99% | 80% | 96% | 83% | 98% | 69% | 94% |
| % Color | 96% | 97% | 97% | 86% | 97% | 96% | 88% | 97% | 86% | 97% | 86% | 97% | 77% | 97% | 85% | 92% |
| % pH | 5% | 3% | 3% | 1% | 4% | 8% | 6% | 1% | 3% | 5% | 9% | 4% | 1% | 8% | 7% | 4% |
| %Hierro | 45% | 94% | 93% | 78% | 89% | 93% | 73% | 77% | 38% | 94% | 61% | 90% | 89% | 98% | 37% | 83% |
| % SDT | -33% | -28% | -33% | -30% | -23% | -35% | -32% | -25% | -35% | -25% | -31% | -31% | -21% | -29% | -32% | -35% |
| % S. Sedimentables | 100% | 100% | 100% | - | - | - | - | - | - | 100% | - | 100% | - | 100% | - | - |
| %S. Suspendidos | 99% | 87% | 90% | 94% | 86% | 18% | 17% | 85% | 39% | 84% | 55% | 80% | 46% | 96% | 23% | 13% |

Elaboración: Autora

4.4 Análisis por parámetros

Se comprobó la efectividad de la coagulación – floculación tras el uso del mucílago de la tuna en las pruebas de jarras, mediante la eficiencia de remoción entre la condición inicial y final, como se puede apreciar en los gráficos presentados a continuación.

4.4.1 Análisis de la Turbiedad

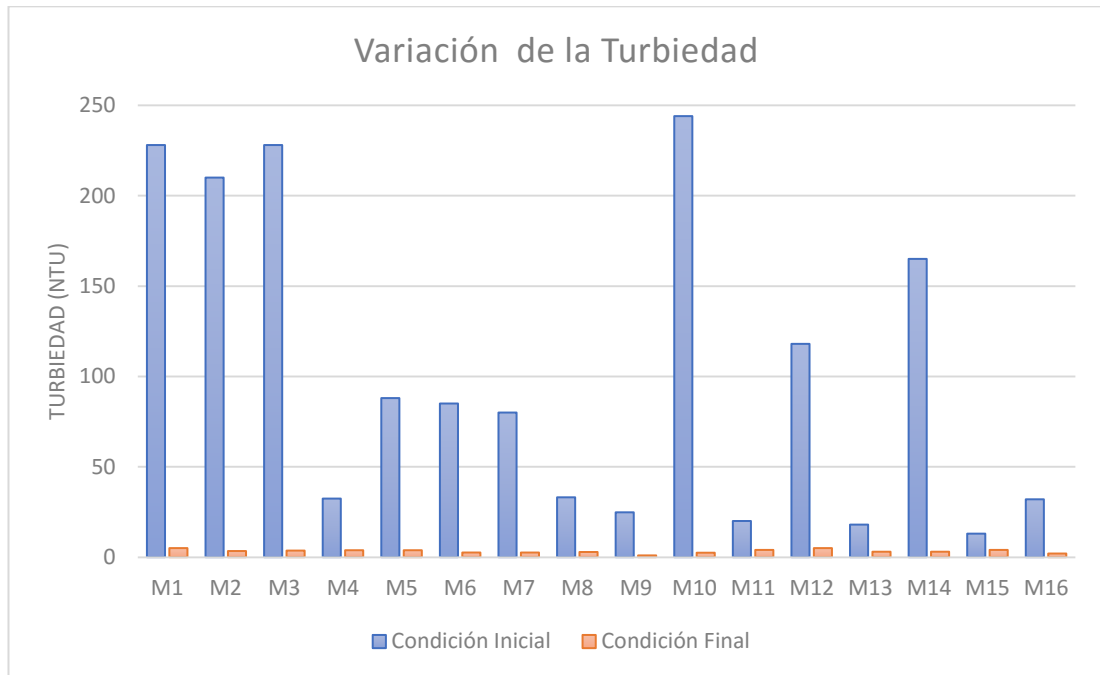


Ilustración 11. Valores de la turbiedad.
Elaboración: Autora.

En cuanto a la turbiedad del agua cruda, presenta valores altos con referencia a los valores medidos después del tratamiento (pruebas de jarras), lo que indica que el mucílago de la tuna posee la capacidad de coagulante – floculante, debido a que el efecto de la remoción de la turbiedad se debe a la capacidad de formación de flocs, donde se agrupan las sustancias que le dan turbiedad al agua, y por ende permiten su clarificación; logrando en todos los casos cumplir con lo que exige la NTE INEN 1108, Quinta revisión, 2014. Agua Potable, Requisitos, que indica que para la turbiedad se acepta como valor límite máximo 5 Unidad Nefelométrica de Turbidez (NTU).



Por otro lado, tomando en cuenta los criterios del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua, Libro VI, Anexo 1, establece en la Tabla 1: Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico, bajo el Acuerdo Ministerial 097-A, publicado el miércoles 4 de noviembre de 2015, Edición Especial N° 387 - Registro Oficial, indica que el límite máximo que deben tener las aguas captadas desde la fuente es de 100 NTU, en este estudio se puede evidenciar claramente que el agua cruda sobrepasa este nivel, debido principalmente a que en la zona alta se registraron problemas de derrumbes y sumado a ello, las fuertes precipitaciones ocasionaron que el agua cruda llegue a la planta con estos niveles de turbiedad.

Las variaciones tan repentinas de la turbiedad inicial se deben a las altas precipitaciones que se presentaron durante el tiempo que se desarrolló las pruebas de jarras, pues fue en época invernal, por lo tanto, es un valor que no estaría cumpliéndose con lo que exige la norma mencionada en el párrafo anterior; sin embargo, tras el tratamiento los valores se reducen notablemente llegando a cumplir con lo que exige la legislación de agua para consumo humano.

En el Gráfico 2, se presenta los porcentajes de remoción de la turbiedad, donde se registraron valores de reducción desde 69 hasta un 99%, con referencia a las condiciones iniciales y finales.

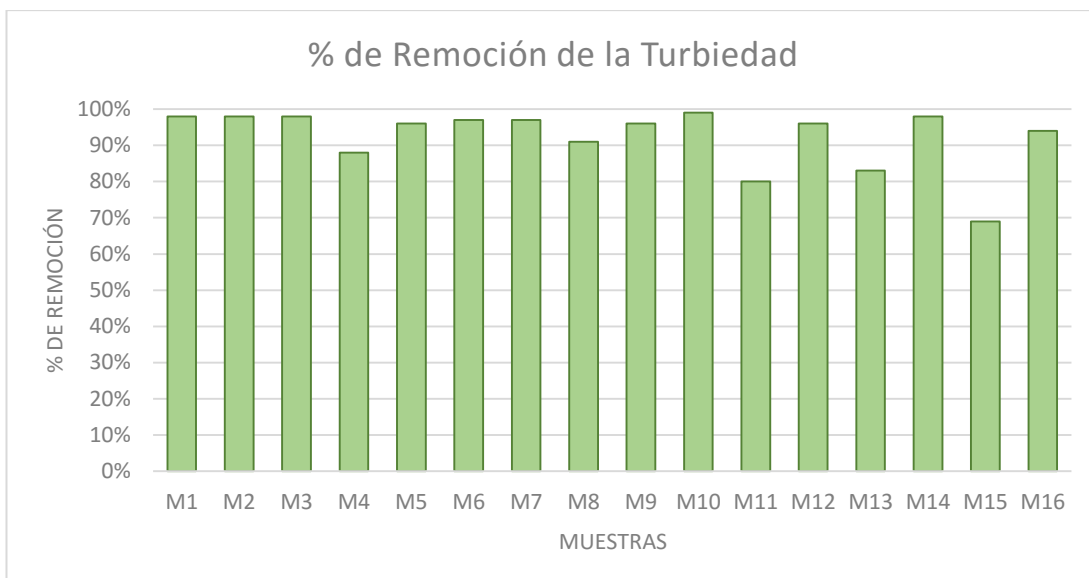


Ilustración 12. Porcentaje de reducción de la turbiedad.
Elaboración: Autora

4.4.2 Análisis del color

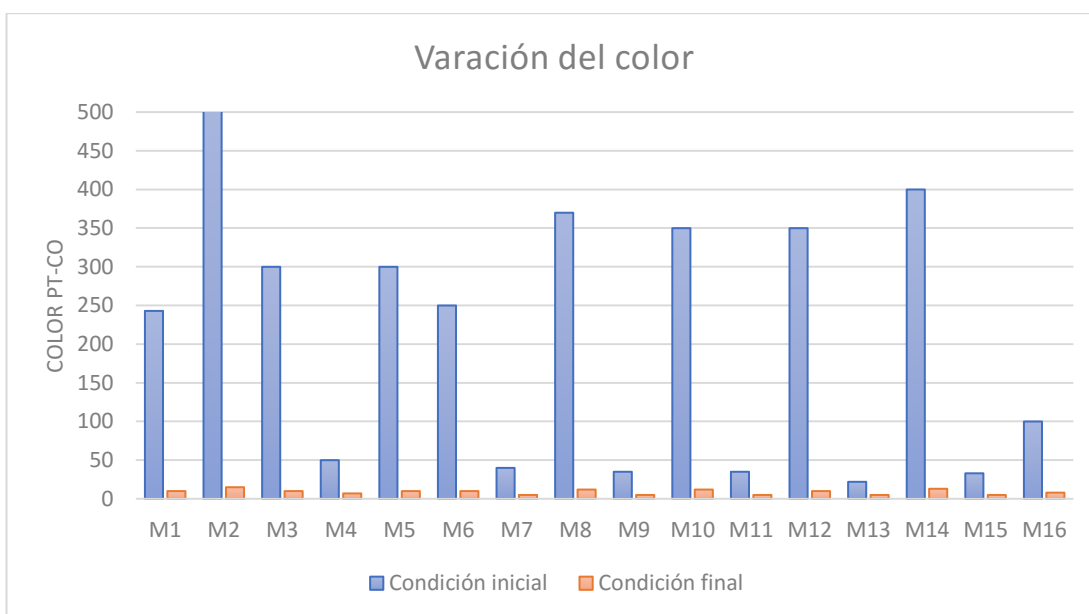


Ilustración 13. Valores del color.
Elaboración: Autora.

En cuanto al color del agua de entrada al subsistema de potabilización en el Gráfico 3, se puede observar la variación del color en los 16 muestreos, registrándose valores altos con referencia a los obtenidos tras las pruebas de jarras.

Luego del tratamiento, el color reduce sus valores y se ajusta o cumple con lo que exige la NTE INEN 1108. Agua Potable. Requisitos, donde para el caso del color se acepta como límite máximo permisible 15 Unidades de color aparente (Pt-Co).

Con referencia a los criterios del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua, Libro VI, Anexo 1, establece el límite máximo que deben tener las aguas crudas captadas en la fuente es de 75 Unidades de Color real (Pt-Co).

Por otra parte, el porcentaje de remoción de color se dio en un rango del 77 al 97%, llegando a tener una remoción máxima de un 97% en 7 de los 16 muestreos; mientras que para el caso del porcentaje de reducción del 77%, se debe principalmente al valor del color en condiciones iniciales, más no porque la acción de la tuna haya sido menor.

Todo esto debido a que el coagulante natural (tuna) posee la capacidad de atrapar las partículas que dan color al agua.

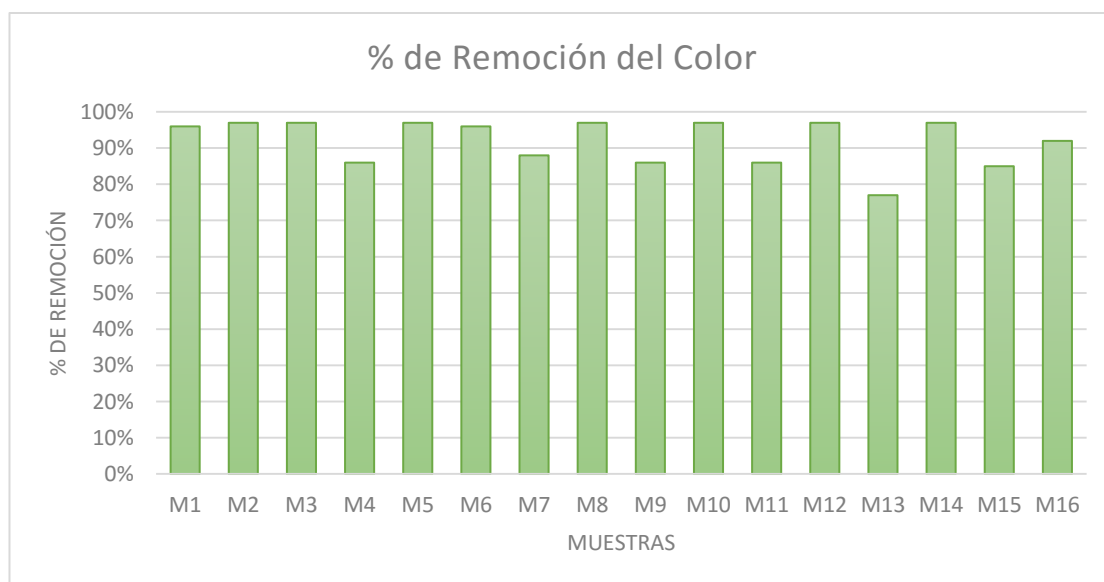


Ilustración 14. Porcentaje de reducción del color.
Elaboración: Autora.

4.4.6 Análisis Sólidos Suspendidos

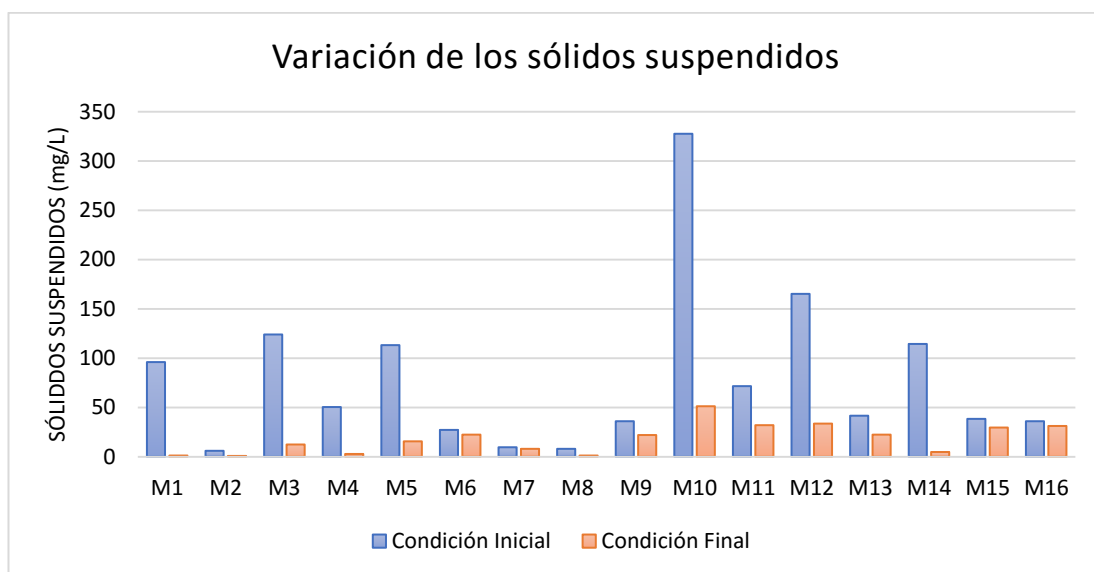


Ilustración 15. Valores de los sólidos suspendidos.
Elaboración: Autora

En el Gráfico 5, se presentan todos los valores reportados durante las 16 semanas de muestreo, registrándose uno de los valores más altos en el M10.

Los sólidos suspendidos según el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), establece que el valor máximo permisible es de 220 mg/L, si bien no es un parámetro de agua para consumo humano, permite establecer un patrón de referencia para su comparación.

En el caso de la remoción de los sólidos suspendidos, va en un rango de 13 hasta el 99% de remoción, correspondiendo para esta última el primer muestreo, y para el más bajo el último muestreo.

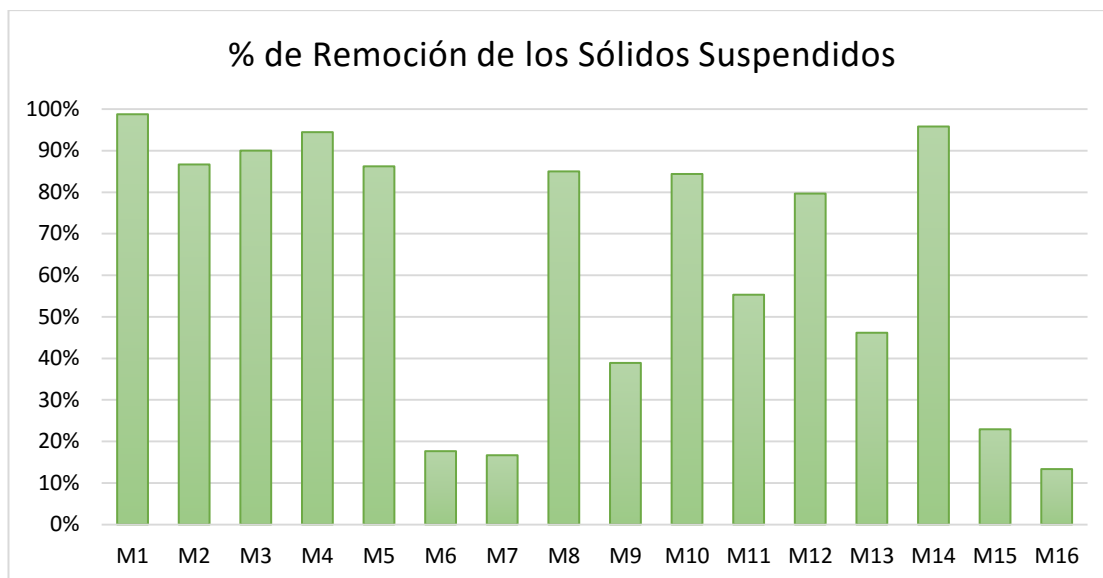


Ilustración 16. Porcentaje de remoción de los sólidos suspendidos.
Elaboración: Autora.

4.5 Comparación de valores promedios con la normativa de calidad ambiental

En la Tabla 6, se evaluó los resultados promedios obtenidos del agua cruda y de las pruebas de jarras, comparando con la NTE INEN 1108 y el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), Libro VI, Anexo 1: Tabla 1: Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico, que permitieron evaluar si cumplen con los requisitos establecidos en cada una de estas normas.



Tabla 6. Valores promedios de los resultados y comparación con la normativa de calidad ambiental.

| PARÁMETROS | UNIDADES | PROMEDIO | | LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES | | OBSERVACIONES |
|------------|----------------|----------|--------------------|-----------------------------|-------------------------------------|---------------|
| | | MUESTRA | COAGULANTE NATURAL | INEN | TULSMA | |
| | | | | Agua para consumo humano | Fuentes de agua para consumo humano | |
| Turbiedad | NTU | 101 | 3 | 15 | - | CUMPLE |
| Color | UC | 213 | 9 | 5 | - | CUMPLE |
| pH | Unidades de pH | 7.8 | 7.5 | - | 6-9 | CUMPLE |
| Hierro | mg/l | 1.22 | 0.2 | - | 1 | CUMPLE |

Elaboración: Autora

Con los datos presentados en la Tabla 6, se concluye que todos los valores promedios de la turbiedad, color, pH y el hierro cumplen con lo que exige la norma tomada como base de comparación.

Para el caso de los sólidos suspendidos, el valor promedio de las muestras del agua cruda es de 79 mg/L, mientras que tras el uso del coagulante se obtuvo 18 mg/L, para este caso se comparó con el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), donde en dicha tabla establece que el valor máximo permisible es de 220 mg/L, por lo que se concluye que CUMPLE con lo que exige la norma, aún previo el tratamiento.

4.6 Curva de dosificación del coagulante natural

La curva de dosificación fue obtenida tras las diferentes pruebas de jarras, donde las turbiedades iniciales se redujeron a los límites máximos permisibles, según la NTE INEN 1108, en este caso 5 NTU o menos.

Tabla 7. Valores recolectados de la dosificación de la tuna y la turbiedad.

| DOSIS (g/2L) | TURBIEDAD INICIAL |
|--------------|-------------------|
| 2 | 32 |



| | |
|----|-----|
| 3 | 13 |
| 4 | 18 |
| 4 | 32 |
| 4 | 33 |
| 5 | 20 |
| 6 | 25 |
| 7 | 88 |
| 7 | 85 |
| 7 | 80 |
| 8 | 118 |
| 8 | 165 |
| 9 | 228 |
| 11 | 210 |
| 12 | 228 |
| 12 | 244 |

Elaboración: Autora

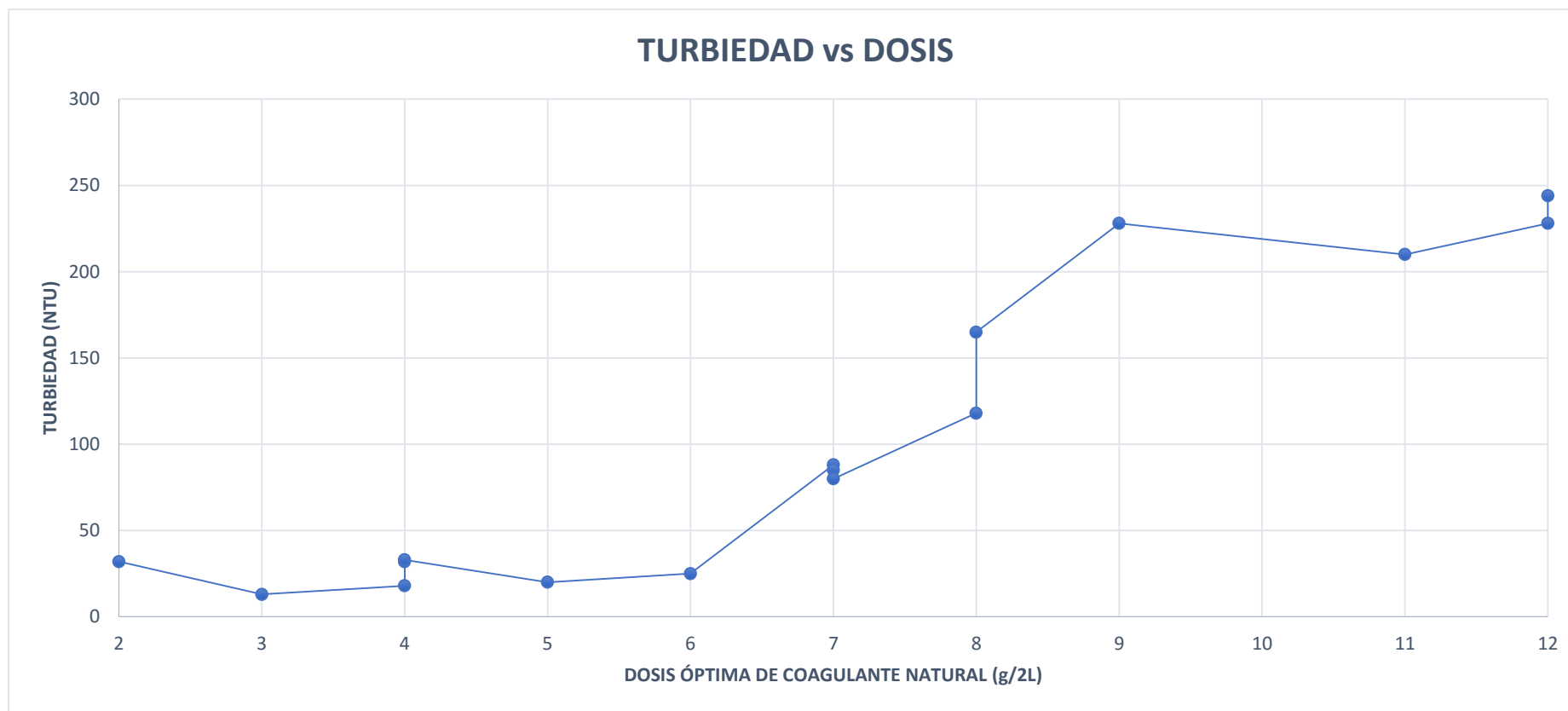


Ilustración 17. Curva de dosificación.
Elaboración: Autora.

En el gráfico se puede observar que a medida que se registran valores más altos de turbiedad, es necesario dosificar en mayor cantidad, es decir, posee una tendencia directamente proporcional; sin embargo, en todos los casos no se cumple esta relación.



CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

El número de encuestas aplicadas fue de 108, en diferentes sectores que la planta de agua brinda el servicio de agua potable. La mayoría de la población encuestada considera que el agua es de mala calidad, y que en muchas ocasiones ha llegado turbia a sus hogares; sin embargo, no existe gran porcentaje de personas que presenten enfermedades desencadenadas del consumo del agua, pero consideran que es necesario mejorar el servicio del tratamiento de agua. Además, se consultó si consideran que usar compuestos orgánicos en el tratamiento de agua permite que mejore su calidad, obteniendo una respuesta positiva del 100% de los encuestados.

La planta comunitaria de potabilización de Lunduma es semi convencional, es decir, no posee todos los procesos de tratamiento del agua, por lo que en épocas de invierno los consumidores suelen evidenciar la deficiencia del proceso, principalmente debido que el agua llega con alta turbiedad a los hogares.

La característica gelatinosa y viscosa del mucílago fresco de la tuna permite que se simule un proceso de coagulación – floculación, debido a que el gel propio en este cactus, al entrar en contacto con el agua captura las partículas suspendidas permitiendo la clarificación.

Al realizar las pruebas de jarras con el agua cruda y el mucílago fresco de la tuna, se pudo evidenciar que éste reduce la turbiedad, color, sólidos sedimentables y suspendidos de las muestras de agua. En algunos casos, en los parámetros iniciales se registraron valores altos, debido principalmente a la época de invierno, que provocó derrumbes en la zona alta.

Para el caso de la turbiedad y los sólidos suspendidos se obtuvo un porcentaje de remoción de 99%, como valor más alto del porcentaje de remoción, mientras que para el color se registró un valor del 97% como el



máximo porcentaje de remoción, por lo que en todos los casos se logró cumplir con lo que exige la normativa de calidad de agua.

Para el caso del pH siempre hubo una reducción, lo que permitió una tendencia a la acidez, debido principalmente a la influencia del ácido orgánico presente en la materia vegetal que entra en contacto con el agua durante el desarrollo de las pruebas de jarras. En el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), indica que los valores del pH de las aguas captadas desde la fuente deberán estar dentro de un rango de 6 – 9 unidades de pH, por lo que en todos los casos del muestreo se logró cumplir con lo que exige esta norma, aún previo a las pruebas de jarras.

Para el caso de los sólidos disueltos totales (SDT) no hubo una reducción, sino por el contrario, un incremento. Esto debido a que el mucílago fresco de la tuna al entrar en contacto con el agua, desprende sus sales minerales ocasionando que dentro del agua tratada se incrementen los resultados de los SDT en las condiciones finales frente a las iniciales, oscilando sus resultados porcentuales de -24 al -36%, que a la vez no afectan al sabor del agua, pues aun cuando éstos se incrementan no sobrepasan los niveles establecidos en la norma de agua para consumo humano.

Con respecto al análisis de los valores promedios de los parámetros: turbiedad, color, pH, hierro y sólidos suspendidos, se concluye que en todos los casos se logró cumplir con la normativa tomada como base de comparación.

Se obtuvo una curva de dosificación del coagulante natural en función de la turbiedad, es conveniente mencionar que esta curva no es totalmente lineal; sin embargo, permite comprender el comportamiento de la dosificación, para esto, se realizó 16 ensayos en el equipo de pruebas de jarras de la planta de tratamiento del agua del cantón Santa Isabel, logrando en todos los casos cumplir con lo que exige la Normativa Ecuatoriana para el agua tratada, que para el caso de la turbiedad es de 5 NTU.



El uso del mucílago fresco de la tuna actúa como coagulante natural, puesto que ayuda a mejorar la calidad del agua cruda, reduciendo el uso de los productos químicos.

RECOMENDACIONES

La fuente que dota de agua cruda al subsistema en estudio, también brinda agua a la planta de la comunidad de Dan Dan y Puente Loma, por lo que, al levantar esta información, se podría escalar a las plantas antes mencionadas, debido a que las condiciones físico - químicas del agua serían similares.

Realizar un análisis físico – químico del mucílago de la tuna para determinar qué tipo y cantidad de sales minerales se encuentran presentes.

Cuando se trabaja en las pruebas de jarras con el coagulante natural no es necesario realizar un ajuste del pH, como suele suceder con el Sulfato de Aluminio.

Para posteriores investigaciones se recomienda realizar un análisis comparativo para los ensayos de jarras, donde se utilice el sulfato de aluminio como coagulante tradicional y tuna como coagulante natural, para obtener datos de la eficiencia de remoción de cada uno.

Experimentar si la tuna actúa como coagulante en las aguas grises e industriales que requieran un tratamiento de coagulación y floculación.

Dar a conocer el estudio ante las diferentes entidades gubernamentales y no gubernamentales sobre el mejoramiento de la calidad del agua potable, y la ventaja directa en la prevención de enfermedades, como el Alzheimer, que suelen desarrollarse por el uso de agentes químicos (como el Sulfato de Aluminio) en la potabilización del agua.

Los lodos que se generan tras el proceso de coagulación – floculación no necesitan un tratamiento de deshidratación, por lo que pueden ser usados como acondicionadores del suelo.



La producción de la tuna en el cantón de Santa Isabel, no representa una fuente de ingresos para los agricultores, por lo que, al perfeccionar la técnica, se podría fomentar el cultivo de la tuna en el cantón, sabiendo que la mayor parte de la economía se desarrolla a partir de la agricultura.

REFERENCIAS

- Abdelmalik, K. W. (2018). Role of statistical remote sensing for Inland water quality parameters prediction. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 21(2), 193-200. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2016.12.002>
- Abo-El-Enein, S. A., Shebl, A., & Abo El-Dahab, S. A. (2017). Drinking water treatment sludge as an efficient adsorbent for heavy metals removal. *Applied Clay Science*, 146, 343-349. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2017.06.027>
- Antov, M. G., Šćiban, M. B., Prodanović, J. M., Kukić, D. V., Vasić, V. M., Đorđević, T. R., & Milošević, M. M. (2018). Common oak (*Quercus robur*) acorn as a source of natural coagulants for water turbidity removal. *Industrial Crops and Products*, 117, 340-346. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.03.022>
- Arcila, H. R., & Peralta, J. J. (2016). Agentes Naturales como Alternativa para el Tratamiento del Agua. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 11(2), 136-153. <https://doi.org/10.18359/rfcb.1303>
- Barba, L., Rodríguez, R., & Córdova, J. L. (1991). *Manual de técnicas microquímicas de campo para la arqueología*. UNAM.



- Berdonces, J. L. (2008). La problemática del tratamiento del agua potable. *Medicina naturista*, 2(2), 22-28.
- Castro, E. D. R., & Suescún, M. I. C. (2016). *EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO POR COAGULACIÓN PARA LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA DE CEMENTOS ARGOS S.A. PLANTA RÍOCLARO, MUNICIPIO DE SONSÓN – ANTIOQUIA, PARA FINES DE REÚSO*. 111.
- Covarrubias, J. C. B. (2011). *Calidad de agua para el cultivo de Tilapia en tanques de geomembrana*. (8), 5.
- Dentel, S. K., Thomas, A. V., & Kingery, K. M. (1989). Evaluation of the streaming current detector—I. Use in jar tests. *Water Research*, 23(4), 413-421. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(89\)90132-2](https://doi.org/10.1016/0043-1354(89)90132-2)
- Feria Díaz, J. J., Bermúdez Roa, S., & Estrada Tordecilla, A. M. (2014). Efficiency of Moringa Oleífera seed as a natural coagulant to remove turbidity from Sinú river's water. *Producción + Limpia*, 9(1), 9-22.
- Flórez, J. M. C. (2011). CLARIFICACIÓN DE AGUAS USANDO COAGULANTES POLIMERIZADOS: CASO DEL HIDROXICLORURO DE ALUMINIO. *DYNA*, 78(165), 18-27.
- García-Cayuela, T., Gómez-Maqueo, A., Guajardo-Flores, D., Welte-Chanes, J., & Cano, M. P. (2019). Characterization and quantification of individual betalain and phenolic compounds in Mexican and Spanish prickly pear (*Opuntia ficus-indica* L. Mill) tissues: A comparative study. *Journal of Food Composition and Analysis*, 76, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2018.11.002>



- Gutiérrez Guzmán, N., Valencia Granada, E., & Aragon Calderon, R. A. (2014). EFICIENCIA DE REMOCIÓN EN SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL BENEFICIO DE CAFÉ (*Coffea arabica*). *Colombia Forestal*, 17(2), 151. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2014.2.a02>
- Guzmán, L., Villabona, Á., Tejada, C., & García, R. (2013). Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 16(1), 253-262.
- Hussain, S., Ghouri, A. S., & Ahmad, A. (2019). Pine cone extract as natural coagulant for purification of turbid water. *Heliyon*, 5(3), e01420. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01420>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2014). NTE INEN 1108: Agua Potable. Requisitos. Recuperado de <http://www.pudeleco.com/files/a16057d.pdf>
- Jiménez, B. E. (2001). *La Contaminación Ambiental en México*. Editorial Limusa.
- Katrivesis, F. K., Karela, A. D., Papadakis, V. G., & Paraskeva, C. A. (2019). Revisiting of coagulation-flocculation processes in the production of potable water. *Journal of Water Process Engineering*, 27, 193-204. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.12.007>
- Kiely, G. (1999). *Ingeniería ambiental: Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión*. España: McGraw-Hill.
- Lapeña, M. R., & Rigola, M. (1989). *Tratamiento de aguas industriales: aguas de proceso y residuales*. Marcombo.



- McFarland, M. L., & Dozier, M. C. (2004). Problemas del agua potable: El hierro y el manganeso. 6.
- Menendez, D. V. G., & Santiago, G. E. M. (2011). VALIDACION DEL METODO ESPECTROFOTOMETRICO (3500-Fe D) DE LA FENANTROLINA PARA DETERMINACION DE HIERRO TOTAL EN AGUA POTABLE. 125.
- Morejón, B. (2017). UTILIZACIÓN DEL MUCÍLAGO DE TUNA (*Opuntia ficus-indica*) EN EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA DE CONSUMO HUMANO, EN LA COMUNIDAD DE PUSIR GRANDE, PROVINCIA DEL CARCHI". Recuperado de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/6621/1/PG%20496%20TESIS.pdf>
- Nharingo, T., & Moyo, M. (2016). Application of *Opuntia ficus-indica* in bioremediation of wastewaters. A critical review. *Journal of Environmental Management*, 166, 55-72. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.10.005>
- Olmos, R. R. (2003). El agua en el medio ambiente: muestreo y análisis. Plaza y Valdes.
- Ortíz, A. V., Paz, I. C., & García, J. M. (2013). Caracterización de la *Opuntia ficus-indica* para su uso como coagulante natural. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 15(1), 137-144. (Contenido de humedad; pH; flavonoides; saponinas; carbohidratos).
- Paixão, M. V. G., & Balaban, R. de C. (2018). Application of guar gum in brine clarification and oily water treatment. *International Journal of*



Biological Macromolecules, 108, 119-126.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.11.166>

Poumaye, N., Mabingui, J., Lutgen, P., & Bigan, M. (2012). Contribution to the clarification of surface water from the Moringa oleifera: Case M'Poko River to Bangui, Central African Republic. Chemical Engineering Research and Design, 90(12), 2346-2352.

Rojas, I. R. (2002). Conferencia Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. 19.

Sigler, P. W. A., & Bauder, J. (2017). Alcalinidad, pH, y Sólidos Disueltos Totales. 1.

Tonkin, N. S. (2012). Deltas. En Developments in Sedimentology (Vol. 64, pp. 507-528). <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53813-0.00017-4>

Torres, P. I. M., Paz, I. K., & Salazar, I. F. G. (2017). TAMAÑO DE UNA MUESTRA PARA UNA INVESTIGACIÓN DE MERCADO. (02), 13.

Trujillo, D., Duque, L. F., Arcila, J. S., Rincón, A., Pacheco, S., & Herrera, O. F. (2014). Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidón de plátano. Revista ION, 27(1), 17-34.

TULSMA. (2015, noviembre 4). ANEXO 1: NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES AL RECURSO AGUA. Recuperado de <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu155128.pdf>

Wan, J., Chakraborty, T., Xu, C. (Charles), & Ray, M. B. (2019). Treatment train for tailings pond water using Opuntia ficus-indica as coagulant.

ANEXOS

Anexo 1. Encuestas en campo

Con el objetivo de obtener más información y establecer una línea base sobre la percepción de la población de Lunduma sobre la calidad del agua que consume, se encuestó a una muestra representativa en función de los usuarios. Para ello, se aplicó la Ecuación 2:

$$n = \frac{NZ^2pq}{d^2(N-1) + Z^2pq}$$

Ecuación 2. Tamaño de la muestra conociendo el tamaño de la población.

Fuente: Torres, Paz, & Salazar, 2017.

Reemplazando con los siguientes datos:

Tabla 8. Datos para determinar la muestra a encuestar.

| | |
|--------------------------|------|
| N (tamaño de la muestra) | 150 |
| Z (nivel de confianza) | 1.96 |
| P (nivel de éxito) | 0.5 |
| q (nivel de fracaso) | 0.5 |
| d (error) | 0.05 |

Elaboración: Autora.

$$n = \frac{150 * (1.96)^2 * 0.5 * 0.5}{(0.05)^2 (150 - 1) + (1.96)^2 * 0.5 * 0.5} = 108$$

Estas encuestas fueron aplicadas en todos los sectores donde la planta de agua dota de agua potable, siendo:



- Lunduma
- Cochaseca
- Tugula
- Algarrobos
- Puente Loma
- Peña Blanca
- Sharonil

Modelo de la encuesta a aplicada

| UNIVERSIDAD DE CUENCA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------------------------|---------|--------------------------|-----------|--------------------------|------------|--------------------------|----------|--------------------------|-------------|--------------------------|--------|--------------------------|-------------|--------------------------|----|--------------------------|----|--------------------------|----|--------------------------|----|--------------------------|----|--------------------------|----|--|--------------------------|----|--------------------------|----|--------------------------|----|--------------------------|----|--------------------------|----|--------------------------|----|--------------------------|----|--------------------------|----|--------------------------|---------|--------------------------|-----------|--------------------------|-----------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|------|--------------------------|------------|--------------------------|---------------|--------------------------|---------------|--------------------------|--------------|--------------------------|--------------|
| FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| N° | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>Buenos días/tardes, estoy realizando esta encuesta con el objetivo de obtener información útil y confiable para nuestro proyecto que se basa en el análisis de la calidad de agua del subsistema de potabilización de la comunidad de Lunduma.</p> <p>Su opinión es muy valiosa, por favor tómese unos minutos para completar la siguiente información.</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PERFIL DEL ENCUESTADO EDAD:..... años GENERO: F <input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>1. Su domicilio se ubica en:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Lunduma</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Cochaseca</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Algarrobos</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Sharonil</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Peña Blanca</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Tugula</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Puente Loma</td></tr> </table> <p>2. ¿Cuántos miembros conforman su familia?</p> <p>.....miembros</p> <p>3. ¿Consume Ud. el agua directamente del grifo?</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Sí</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>No</td></tr> </table> <p>4. ¿Considera Ud. que el agua que consume es de buena calidad?</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Sí</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>No</td></tr> </table> <p>5. ¿Alguna vez el agua potable ha llegado turbia (sucia) a su hogar?</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Sí</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>No</td></tr> </table> | <input type="checkbox"/> | Lunduma | <input type="checkbox"/> | Cochaseca | <input type="checkbox"/> | Algarrobos | <input type="checkbox"/> | Sharonil | <input type="checkbox"/> | Peña Blanca | <input type="checkbox"/> | Tugula | <input type="checkbox"/> | Puente Loma | <input type="checkbox"/> | Sí | <input type="checkbox"/> | No | <input type="checkbox"/> | Sí | <input type="checkbox"/> | No | <input type="checkbox"/> | Sí | <input type="checkbox"/> | No | <p>6. ¿Conoce la zona de captación del agua que ingresa a la planta de potabilización?</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Sí</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>No</td></tr> </table> <p>7. ¿Considera que es necesario realizar un análisis de la calidad del agua potable de la comunidad?</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Sí</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>No</td></tr> </table> <p>8. ¿Ha presentado problemas de salud por consumir agua directamente del grifo?</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Sí</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>No</td></tr> </table> <p>9. ¿Cree Ud. que se puede mejorar la calidad de agua, mediante el uso de compuestos naturales?</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Sí</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>No</td></tr> </table> <p>Si su respuesta es positiva, cuál de estos ayudaría</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Moringa</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Quitosano</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Almidón de yuca</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Semillas de tamarindo</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Tuna</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Otros.....</td></tr> </table> <p>11. ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar mensualmente por mejorar el servicio del agua potable?</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>De 1 a 1.5 \$</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>De 1.5 a 2 \$</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>De 2 a 2.5\$</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>De 2.5 a 3\$</td></tr> </table> | <input type="checkbox"/> | Sí | <input type="checkbox"/> | No | <input type="checkbox"/> | Sí | <input type="checkbox"/> | No | <input type="checkbox"/> | Sí | <input type="checkbox"/> | No | <input type="checkbox"/> | Sí | <input type="checkbox"/> | No | <input type="checkbox"/> | Moringa | <input type="checkbox"/> | Quitosano | <input type="checkbox"/> | Almidón de yuca | <input type="checkbox"/> | Semillas de tamarindo | <input type="checkbox"/> | Tuna | <input type="checkbox"/> | Otros..... | <input type="checkbox"/> | De 1 a 1.5 \$ | <input type="checkbox"/> | De 1.5 a 2 \$ | <input type="checkbox"/> | De 2 a 2.5\$ | <input type="checkbox"/> | De 2.5 a 3\$ |
| <input type="checkbox"/> | Lunduma | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | Cochaseca | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | Algarrobos | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | Sharonil | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | Peña Blanca | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | Tugula | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | Puente Loma | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | Sí | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | No | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | Sí | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | No | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | Sí | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | No | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | Sí | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | No | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | Sí | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | No | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | Sí | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | No | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | Sí | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | No | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | Moringa | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | Quitosano | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | Almidón de yuca | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | Semillas de tamarindo | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | Tuna | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | Otros..... | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | De 1 a 1.5 \$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | De 1.5 a 2 \$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | De 2 a 2.5\$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | De 2.5 a 3\$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Firma: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Ilustración 18. Modelo de la encuesta aplicada.
Elaboración: Autora.

Tabulación de resultados de la encuesta

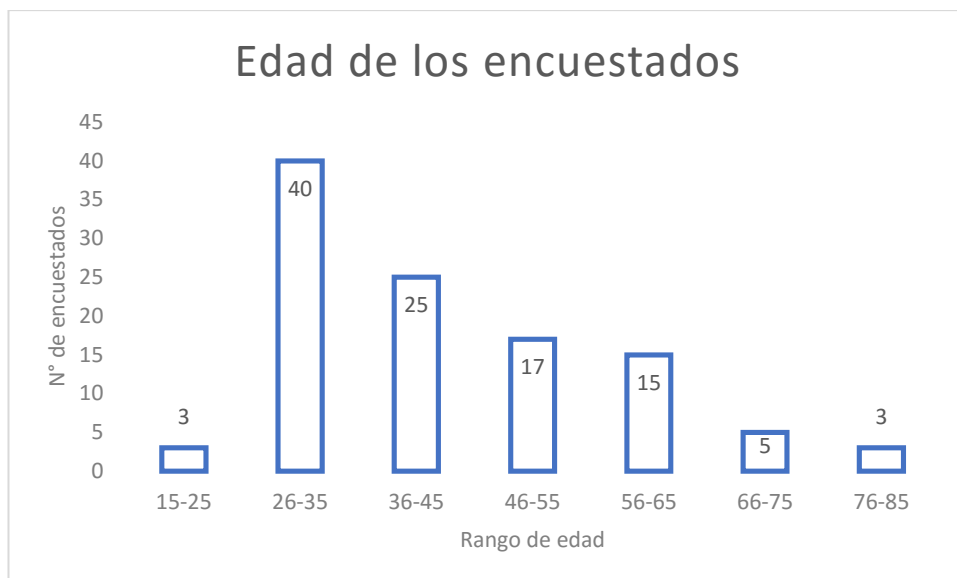


Ilustración 19. Edad de las personas encuestadas.
Elaboración: Autora.

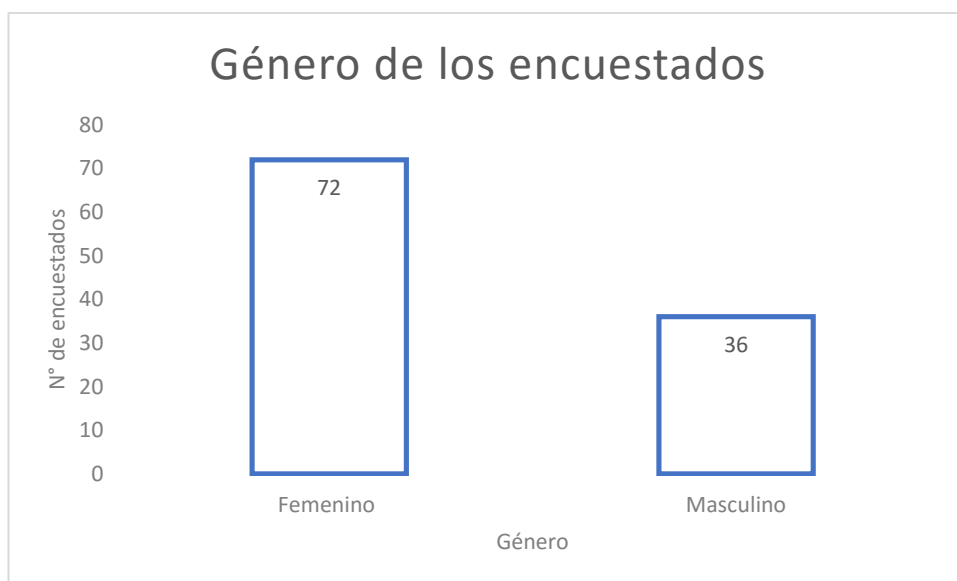


Ilustración 20. Género de los encuestados.
Elaboración: Autora.

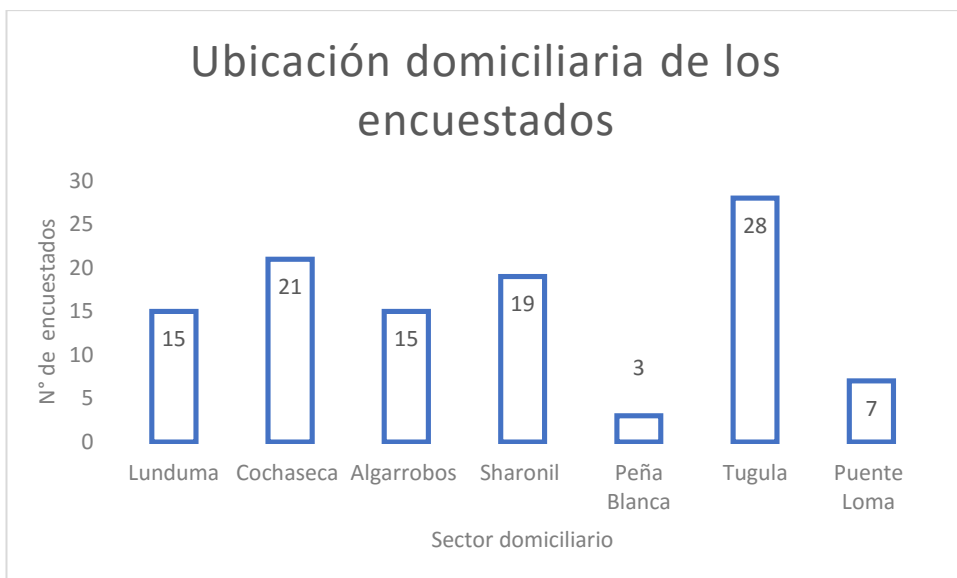


Ilustración 21. Personas encuestadas por sectores.
Elaboración: Autora.

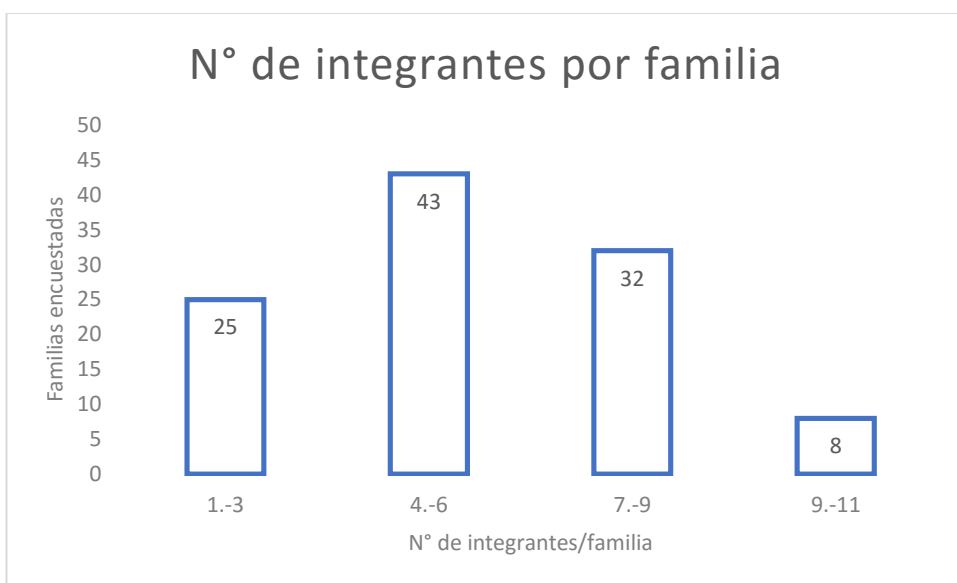


Ilustración 22. Número de integrantes por familia.
Elaboración: Autora.

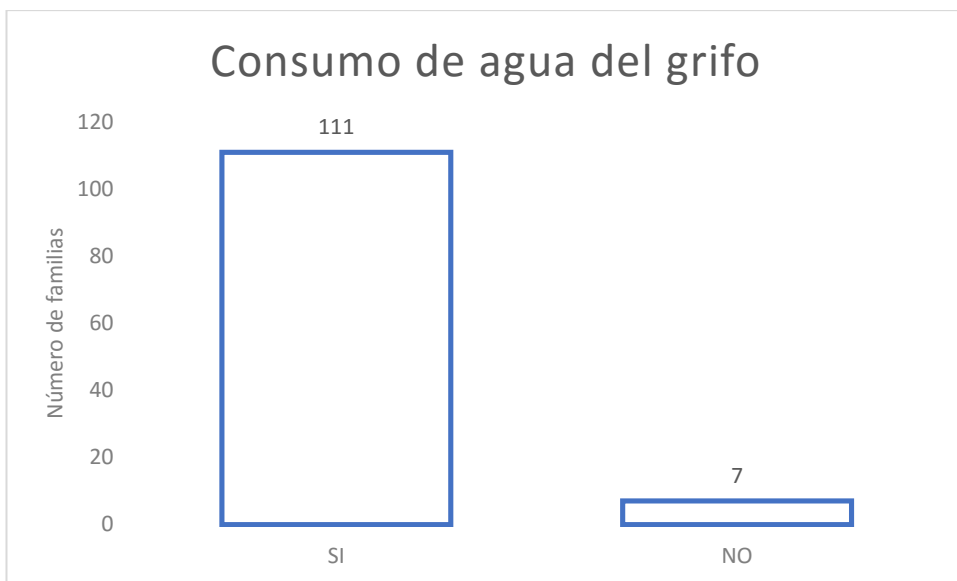


Ilustración 23. Encuestados que consumen agua directamente del grifo.
Elaboración: Autora.



Ilustración 24. Percepción sobre la calidad de agua.
Elaboración: Autora.

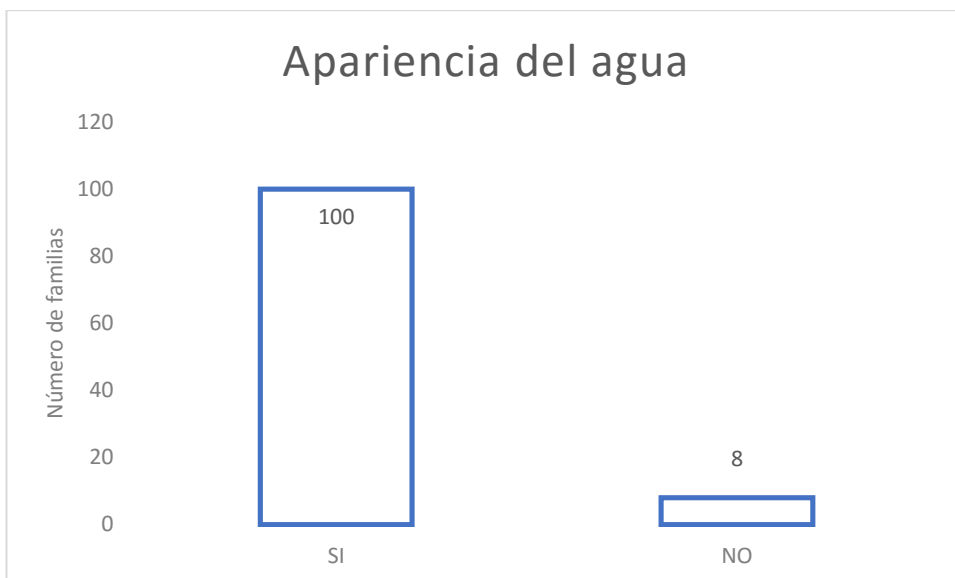


Ilustración 25. Apariencia del agua (turbiedad).
Elaboración: Autora.

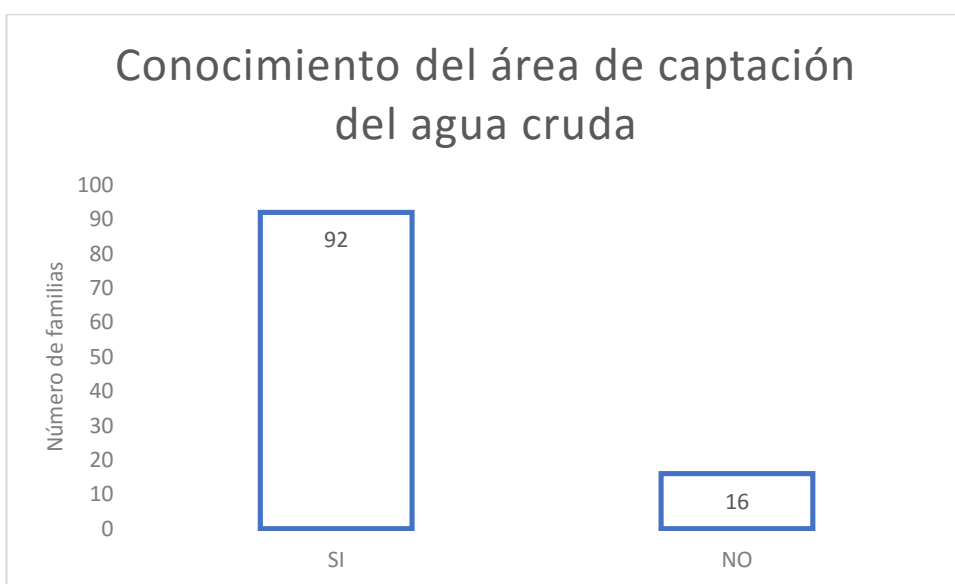


Ilustración 26. Usuarios que conocen la zona de captación del agua cruda.
Elaboración: Autora.

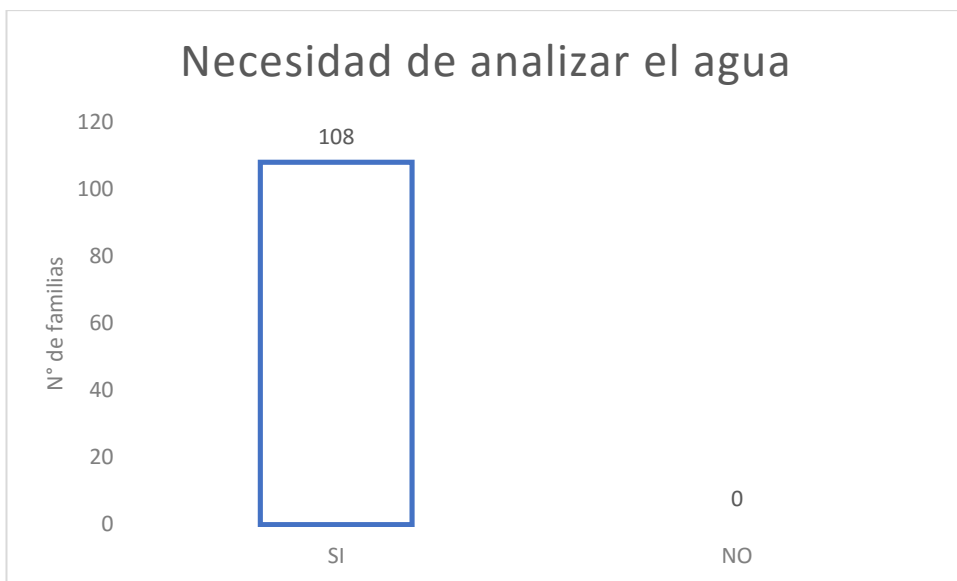


Ilustración 27. Necesidad de conocer la calidad del agua potable.
Elaboración: Autora.

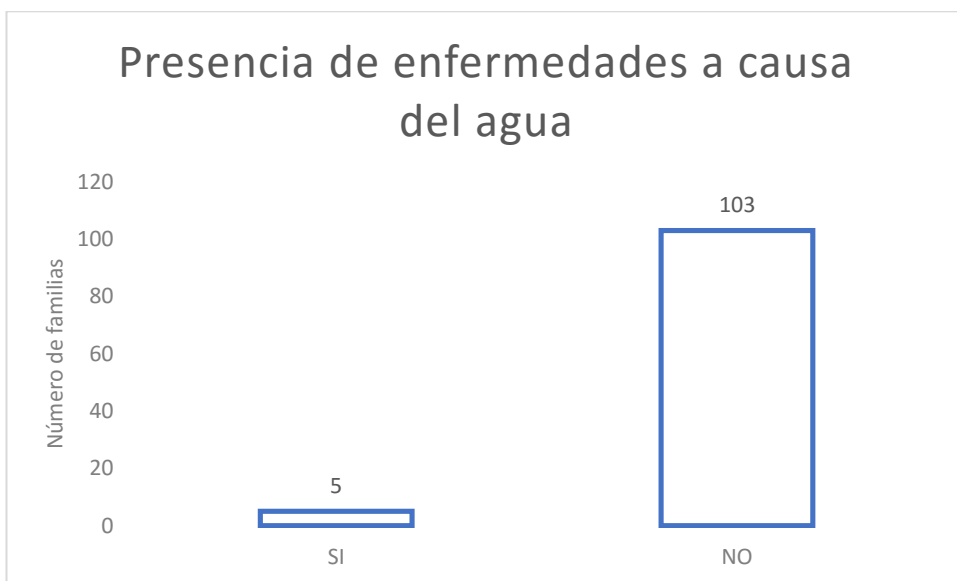


Ilustración 28. Población que presenta enfermedades por el consumo del agua potable.
Elaboración: Autora.

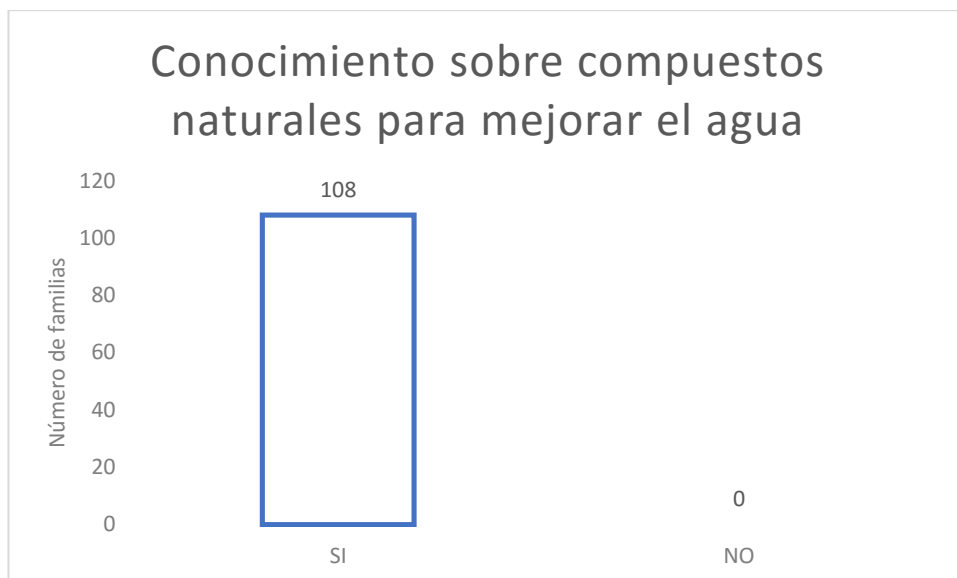


Ilustración 29. Uso de compuestos naturales para el mejoramiento de la calidad del agua.
Elaboración: Autora.

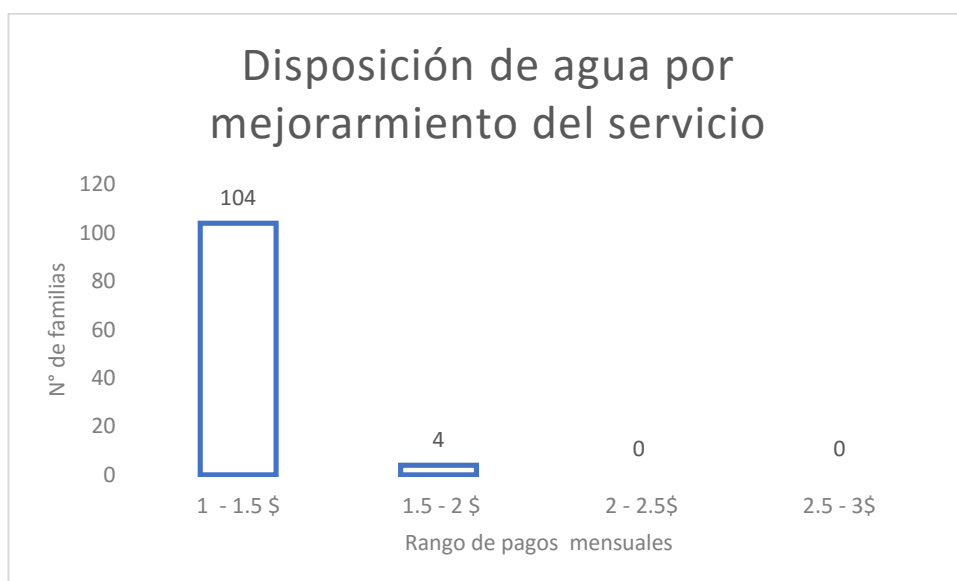


Ilustración 30. Disposición a pagar por mejorar el servicio del agua potable.
Elaboración: Autora.

Evidencias de la aplicación de la encuesta



Ilustración 31. Aplicación de encuestas.
Fuente: Autora.



Anexo 2. Fechas de muestreo

Tabla 9. Fechas de muestreo.

| Semana | Fecha |
|---------------|-----------------------------|
| Semana 1 | 12 y 13 de febrero del 2019 |
| Semana 2 | 18 y 19 de febrero del 2019 |
| Semana 3 | 25 y 26 de febrero del 2019 |
| Semana 4 | 05 y 06 de marzo del 2019 |
| Semana 5 | 11 y 12 de marzo del 2019 |
| Semana 6 | 19 y 20 de marzo del 2019 |
| Semana 7 | 25 y 26 de marzo del 2019 |
| Semana 8 | 01 y 02 de abril del 2019 |

Elaboración: Autora.

Anexo 3. Medición de parámetros físicos y químicos

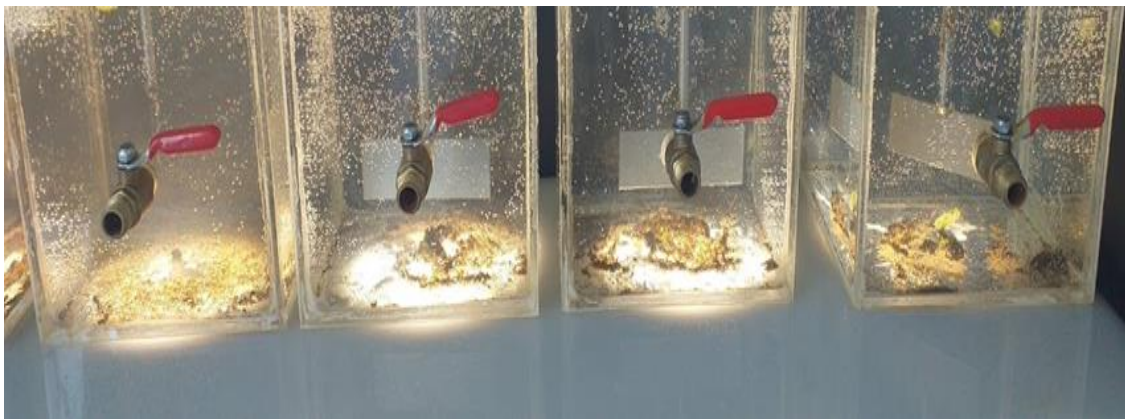


Ilustración 32. Pruebas de jarras.
Fuente: Autora.



Ilustración 33. Equipo usado para medir la turbiedad.
Fuente: Autora.



Ilustración 34. Equipo usado para medir el color.
Fuente: Autora.



Ilustración 35. Reactivos usados para medir el pH.
Fuente: Autora.



Ilustración 36. Equipo usado para medir el Hierro.
Fuente: Autora

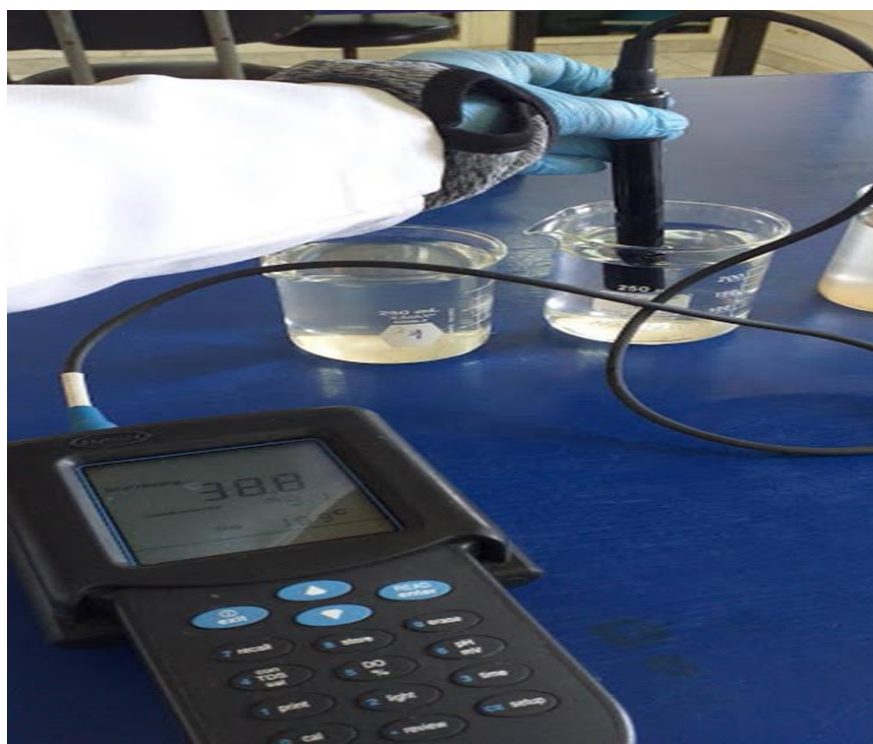


Ilustración 37. Equipo usado para medir los SDT.
Fuente: Autora.



Ilustración 38. Determinación de los sólidos sedimentables.
Fuente: Autora.



Ilustración 39. Horno de laboratorio programado para eliminar la humedad de los papeles filtros.
Fuente: Autora.



Ilustración 40. Acondicionamiento de los papeles filtros antes de proceder al pesado.
Fuente: Autora.

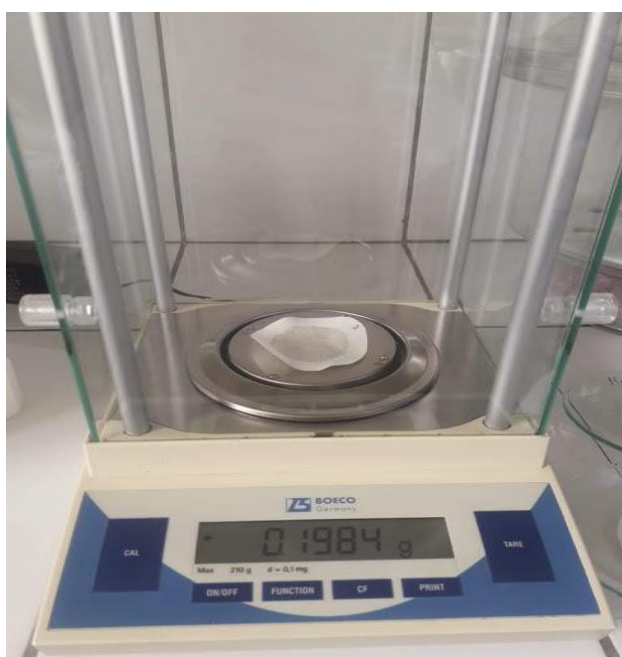


Ilustración 41. Peso del papel filtro después de las 24 horas en el horno.
Fuente: Autora.